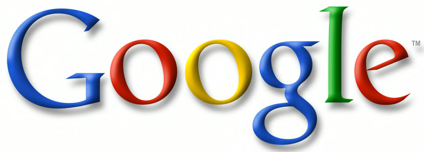
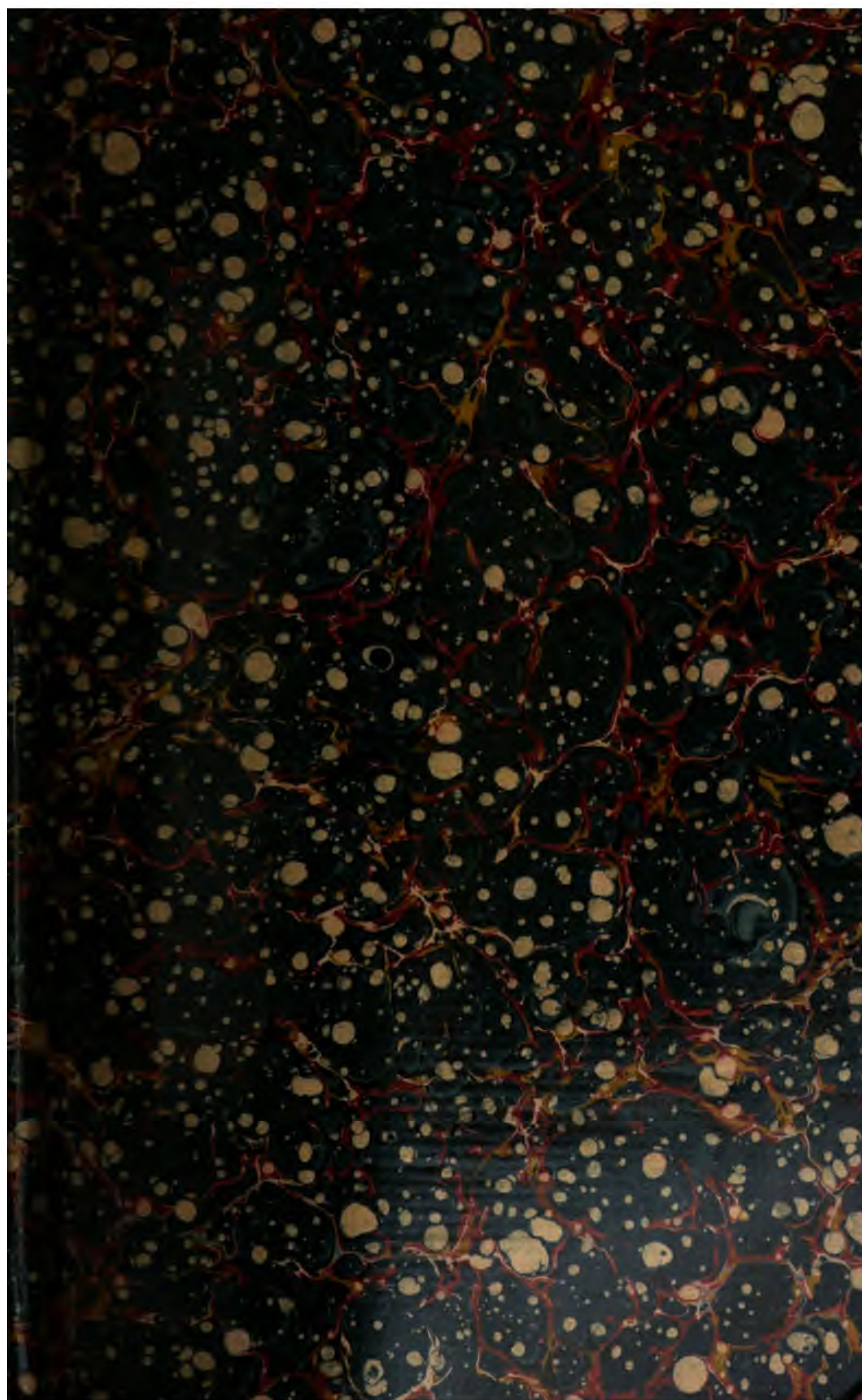



SIGILLVM ACADEMIAE HARVARDIANAE IN NOV ANG
VE
RI
TS
CHRISTO ET ECCLESIAE



ANNALES

DES MINES

Les ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'Administration des Mines et sous la direction d une commission spéciale, nommée par le Ministre des travaux publics. Cette commission, dont font partie le directeur des routes, de la navigation et des mines et le directeur du personnel et du secrétariat, est composée ainsi qu'il suit:

L'Administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des ANNALES DES MINES pour être envoyés, soit, à titre de don, aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit, à titre d'échange, aux rédacteurs des ouvrages périodiques, français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts.

Les lettres et documents concernant les ANNALES DES MINES doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des travaux publics*, à M. l'ingénieur secrétaire de la commission des ANNALES DES MINES.

Les auteurs reçoivent *gratis* 20 exemplaires de leurs articles.

Ils peuvent faire faire des tirages à part, à raison de 9 francs par feuille jusqu'à 50, 10 francs de 50 à 100, et 5 francs en plus pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. — Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des ANNALES DES MINES a lieu par livraisons, qui paraissent tous les deux mois.

Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont deux consacrés aux matières scientifiques et techniques, et un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. Ils contiennent ensemble 90 feuilles d'impression et 24 planches gravées environ.

Le prix de l'abonnement est de 20 francs pour Paris, de 24 francs pour les départements et de 28 francs pour l'étranger.

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES
DES MINES
OU
RECUEIL
DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES
ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT,

RÉDIGÉES ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

HUITIÈME SÉRIE

MÉMOIRES. — TOME V.

PARIS
DUNOD, ÉDITEUR,
LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES,
Quai des Augustins, n° 49

1884

Whiting 12/20

LISTE DES ÉCHANGES AUTORISÉS

ENTRE LES ANNALES DES MINES ET LES PUBLICATIONS FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES.

Les *Annales des mines* ont été adressées, à titre d'échange, en 1884, aux Sociétés et publications dont les noms suivent :

1. — The Journal of the Franklin Institute. *Philadelphie.*
2. — The American Journal of science and arts. *New-Haven.*
3. — American philosophical Society. *Philadelphie.*
4. — Philosophical Transactions of the Royal Society of London.
5. — The quarterly Journal of the Geological Society. *Londres.*
6. — Minutes of the Proceedings of the Institution of civil Engineers. *Londres.*
7. — Royal Irish Academy. *Dublin.*
8. — Atti della Societa Toscana di Scienze naturali. *Pise.*
9. — Bibliothèque universelle et Revue suisse; partie scientifique : archives des sciences physiques et naturelles. *Genève.*
10. — Mémoires de la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève.
11. — Société géologique de France. *Paris.*
12. — Journal de mathématiques pures et appliquées. *Paris.*
13. — Annales de Chimie et de Physique. *Paris.*
14. — Société d'encouragement pour l'industrie nationale, *Paris.*
15. — Journal de Pharmacie et de Chimie. *Paris.*
16. — Kaiserlich-Königliche Geologische Reichsanstalt. *Vienne.*
17. — Royal geological Society of Cornwall. *Penzance.*
18. — Geological Survey of Great-Britain. *Londres.*
19. — Royal Society of Edinburgh. *Édimbourg.*
20. — Société de l'industrie minérale. *Saint-Étienne.*
21. — Smithsonian Institution. *Washington.*
22. — Zeitschrift der deutschen geolog. Gesellschaft. *Berlin.*
23. — Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie. *Giessen.*
24. — Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieur-und Archi tekten-Vereins. *Vienne.*
25. — Anales de la Sociedad cientifica Argentina. *Buenos-Ayres.*
26. — Zeitschrift des Architekten und Ingenieur-Vereins zu Hannover. *Hanovre.*
27. — Geological Survey of India. *Calcutta.*
28. — Berg-und Huttenmännische Zeitung. *Leipzig.*
29. — Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse.
30. — Société Chimique de Paris.

31. — Il Politecnico. Giornale dell' Ingegnere, Architetto civile ed industriale. *Milan.*
32. — Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure. *Berlin.*
33. — Société des Ingénieurs civils. *Paris.*
34. — Observatoire de Paris.
35. — Boston Society of Natural History. *Boston.*
36. — Société linnéenne de Normandie. *Caen.*
37. — Moniteur des intérêts matériels. *Bruxelles.*
38. — Iron. The Journal of science, metals and manufactures. *Londres.*
39. — Königliche Ungarische geologische Anstalt. *Bude-Pesth.*
40. — The Journal of the Iron and Steel Institute. *Londres.*
41. — The Engineering and Mining Journal. *New-York.*
42. — North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers. *Newcastle-upon-Tyne.*
43. — Literary and Philosophical Society of Manchester.
44. — Berg-und Hüttenmännisches Jahrbuch der K. K. Bergakademien zu Leoben und Przibram und der Kön. Ungar. Bergakademie zu Schemnitz. *Vienne.*
45. — Oesterreichische Zeitschrift für Berg-und Hüttenwesen. *Vienne.*
46. — Revue universelle des Mines et de la Métallurgie. *Liège.*
47. — Transactions of the American Institute of Mining Engineers. *Easton (Pensylvanie).*
48. — Reale Accademia dei Lincei. *Rome.*
49. — American chemical Society. *New-York.*
50. — Academy of natural Sciences of Philadelphia.
51. — Comision del Mapa geologico de España. *Madrid.*
52. — Mémorial de l'Artillerie de la Marine. *Paris.*
53. — Midland Institute of mining, civil and mechanical Engineers. *Barnsley (Yorkshire).*
54. — L'Électricien, revue générale d'électricité. *Paris.*
55. — Giornale del Genio civile. *Rome.*
56. — Le génie civil. *Paris.*
57. — Revista minera y metalurgica. *Madrid.*
58. — Annales de la Société géologique de Belgique. *Liège.*
59. — United States geological Survey. *Washington.*
60. — Institut royal géologique de Suède. *Stockholm.*
61. — Canadian Institute. *Toronto.*
62. — Revue de la législation des Mines. *Paris.*
63. — Section des travaux géologiques du Portugal. *Lisbonne.*
64. — Second geological survey of Pennsylvania. *Philadelphie.*

BIBLIOGRAPHIE.

PREMIER SEMESTRE DE 1884.

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques pures.*

ANDRÉ (P.). — Nouvelles tables de logarithmes à sept décimales. *Édition* stéréotype, contenant les logarithmes des nombres de 1 à 10.000, avec le calcul des parties proportionnelles pour les différences, etc. 2° *tirage*. In-12, XXII-189 p. (2434)

ANDRÉIEF (C.). — Note sur une relation entre les intégrales définies des produits des fonctions. In-8°, 15 p. Bordeaux. (Extr. des *Mém. de la Soc. des sciences physiques et naturelles de Bordeaux.*) (5472)

BIEHLER (C.). — Notes d'algèbre : Sur l'élimination. In-8°, 16 p. (Extr. des *Nouvelles annales de mathématiques*). (835)

—— Sur la construction d'une courbe algébrique autour d'un de ses points. In-8°, 32 p. avec 17 fig. (Extr. du même recueil.) (836)

BRIOT (C.) et J.-C. BOUQUET. — Leçons de géométrie analytique. 11° *édition*, revue et corrigée. In-8°, 580 p. avec 317 fig. (319)

COLLIGNON (E.). — Quelques problèmes sur le mouvement relatif. In-8°, 14 p. avec 4 fig. (*Assoc. franç. pour l'avancement des sciences*. Congrès de Rouen, 1883.) (4747)

—— Sur la chaînette d'égale résistance. In-8°, 11 p. (Extr. du même recueil.) (4748)

DALSÈME (J.). — Éléments de takymétrie géométrie intuitive), à l'usage des instituteurs primaires, des écoles professionnelles, des agents des travaux publics, etc. 4° *édition*. In-8°, 64 p. avec 85 fig. (6101)

Houël (J.). — Tables de logarithmes à cinq décimales pour les nombres et les lignes trigonométriques, suivies des logarithmes de Gauss, et de diverses tables usuelles. *Nouvelle édition*, revue et augmentée. In-8°, XLVIII-118 p. (1200)

Lagout (E.). — Takitechnie. Règle de Gunter, engin calculateur de la takitechnie, théorie de la règle à calcul mise à la portée de tous par les diagrammes de l'escalier progressif de la takimalgèbre. In-8°, 32 p. avec fig. (1820)

Laisant (C.-A.). — Sur un système de figures semblables dans un même plan, suivi de : Remarques sur les intégrales définies. In-8°, 4 p. (*Assoc. franç. pour l'avancement des sciences*. Congrès de Rouen, 1883.) (4813)

Lemoine (E.). — Sur les nombres formés des mêmes chiffres écrits en sens inverse. In-8°, 11 p. (Extr. du même recueil.) (4816)

—— Sur les quatre groupes de deux points d'un triangle ABC qui sont en même temps les foyers d'une conique inscrite et d'une conique circonscrite à ce triangle. In-8°. 5 p. (Extr. du même recueil.) (4817)

Leroy (C.-F.-A.). — Traité de géométrie descriptive, suivi de la Méthode des plans cotés de la théorie des engrenages cylindriques et coniques, avec une collection d'épures composée de 71 planches; par C.-F.-A. Leroy, ancien professeur à l'Ecole polytechnique. 11e *édition*, revue et annotée par M. E. Martelet, professeur de géométrie descriptive. In-4°, xx-369 p. avec 44 fig. et album de 71 pl. (1232)

—— Traité de stéréotomie, comprenant les applications de la géométrie descriptive à la théorie des ombres, la perspective linéaire, la gnomonique, la coupe des pierres et la charpente; par C.-F.-A. Leroy, ancien professeur à l'École polytechnique. 9e *édition*, revue et annotée par M.-E. Martelet, professeur de géométrie descriptive. Texte et planches. In-4°, XVI-396 p. et atlas in-folio de 74 pl. (2609)

Longchamps (G. de). — Algèbre; par M. G. de Longchamps, professeur de mathématiques spéciales au lycée Charlemagne. In-8°, XII-671 p. (134)

—— Sur une nouvelle espèce de fractions continues. In-8°, 28 p. (Extr. du *Journal de mathématiques spéciales*.) (5918)

Parmentier. — Problèmes des *n* reines; par M. le général Parmentier. In-8°, 17 p. avec 8 fig. (*Assoc. franç. pour l'avancement des sciences*. Congrès de Rouen, 1883.) (4845)

Pellet (A.-E.). — Essai sur le calcul infinitésimal. In-8°, 16 p. avec fig. Clermont-Ferrand. (6467)

Pourret (L.). — Formulaire mathématique, ou Recueil de formules donnant la solution de toutes les questions usuelles sur les nombres, les surfaces et les volumes, avec deux appendices et 284 exercices, etc. In-8°, VIII-112 p. (1866)

Pruvost (E.). — Leçons de géométrie analytique à l'usage des élèves de la classe de mathématiques spéciales et des candidats à l'École normale supérieure et à l'École polytechnique. 1er fascicule. In-8°, p. 1 à 352, avec fig. 1 à 165. (1566)

Schoute (P.-H.). — Sur deux transformations géométriques uniformes. In-8°, 23 p. avec 3 fig. (*Assoc. franç. pour l'avancement des sciences.* Congrès de Rouen, 1883.) (5162)

Siacci. — Sur les axes des groupements (*rose di tiro*); par le major Siacci, de l'artillerie italienne. In-8°, 24 p. Nancy. (1042)

Smith (H.-J.-S.). — Mémoire sur la représentation des nombres par des sommes de cinq carrés; par M. H.-S.-J. Smith, professeur de géométrie à l'université d'Oxford. In-4°, 72 p. Extr. des *Mém. des savants étrangers.*) (6011)

Sturm (C.) et H. Laurent. — Cours d'analyse de l'École polytechnique; par Ch. Sturm, de l'Institut, revu et corrigé par E. Prouhet, répétiteur d'analyse à l'École polytechnique. 7e *édition*, suivie de la Théorie élémentaire des fonctions elliptique, par M. H. Laurent. 2 vol. in-8°. T. I, XXX-508 p. avec fig.; t. II, X-626 p. avec fig. (2705)

Tannery (P.). — La Stéréotomie de Héron d'Alexandrie. In-8°, 22 p. Bordeaux. (Extr. des *Mém. de la Soc. des sciences physiques et naturelles de Bordeaux.*) (6016)

Vazeille (E.). — Théorie de l'involution du second degré. In-8°, 16 p. avec fig. (Extr. du *Journal de mathém. spéciales.*) (3813)

2° *Physique. — Chimie. — Métallurgie.*

Allard, Le Blanc, Joubert, Potier et H. Tresca. — Expériences faites à l'exposition d'électricité. In-8°, 152 p. avec fig. (Extr. des *Annales de chimie et de physique.*) (795)

Andouard (A.). — Travaux du laboratoire départemental de chimie agricole de la Loire-Inférieure effectués pendant l'exercice 1882-83. In-8°, 82 p. avec tableaux. Nantes. (4402)

Bernardières (de). — Résumé des déterminations magnétiques effectuées en 1882-83 par la mission chargée de l'observation du passage de Vénus au Chili, et de la mesure de différences

de longitude sur la côte occidentale de l'Amérique du Sud. In-8°, 24 p. (Extr. des *Annales hydrographiques.*) (6254)

Boudet de Paris. — De quelques applications des conducteurs aux transmissions téléphoniques. In-8°, 15 p. avec fig. (*Assoc. franç. pour l'avanc. des sciences.* Congrès de Rouen 1883.) (4947)

Boutan (A.) et J.-C. d'Almeida. — Cours élémentaire de physique, suivi de problèmes. 5e *édition*, revue entièrement et complétée par A Boutan, inspecteur général de l'instruction publique. T. I. In-8°, 735 p. avec 380 fig. (315)

Bresson. — Note sur l'état actuel de la métallurgie du fer et de l'acier en Autriche-Hongrie. In-8°, 34 p. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils.*) (4954)

Brito Capello. — Température du sol à diverses profondeurs (à Lisbonne). In-8°, 6 p. avec fig. (*Assoc. franç. pour l'avancement des sciences.* Congrès de Rouen, 1883.) (6594)

Crova (A.). — Observations actinométriques faites pendant l'année 1882-83 à l'observatoire météorologique de Montpellier. In-4°, 8 p. avec tableaux et 2 planches. Montpellier. (6630)

Debray (H.) et A. Joly. — Cours de chimie. 4e *édition*, revue et augmentée. T. I : Métalloïdes, notes et problèmes. In-8°, 665 p. avec 183 fig. et 3 planches. (357)

Deros (A.). — Recherche et dosage du zinc et du plomb dans les minerais de fer. In-8°, 6 p. Marseille. (5828)

Descroix (L.). — Magnétisme terrestre (première note). Sur les variations de direction de la force magnétique à Montsouris et sur le déplacement des heures tropiques qui règlent les mouvements de l'aiguille horizontale. In-8°, 24 p. (Extr. de l'*Annuaire de l'observatoire de Montsouris.*) (888)

Ditte (A.). — Traité élémentaire de chimie fondée sur les principes de la thermochimie, avec emploi des données calorimétriques. In-12, xx-297 p. avec 128 fig. 5 fr. (2808)

Encyclopédie chimique publiée sous la direction de M. Fremy, de l'Institut, par une réunion d'anciens élèves de l'École polytechnique, de professeurs et d'industriels. T. II : Métalloïdes (1er appendice). Reproduction artificielle des minéraux ; par M. L. Bourgeois, préparateur du cours de chimie organique au Muséum d'histoire naturelle. In-8°, 224 p. et 8 pl. (3442)

—— T. V, 2e section, 11e partie, 8e cahier : Désargentation des minerais de plomb ; par M. Roswag, ingénieur civil des mines. In-8°, xl-386 p. (5358)

—— T. VIII, ou t. III de la Chimie organique générale. 2e sec-

tion, 3ᵉ partie : Radicaux organométalliques; par M. Chastaing, pharmacien en chef de l'hôpital de la Pitié. In-8°, 439 p. (334)

FABRE (J.-H.). — Chimie à l'usage de tous les établissements d'instruction publique. 3ᵉ *édition*, revue et corrigée. In-12, 428 p. avec 61 fig. (377)

GARIEL (C.-M.) et V. DESPLATS. — Éléments de physique médicale; précédés d'une préface par M. Gavarret, professeur de physique médicale à la Faculté de médecine de Paris. 2ᵉ *édition*, corrigée et augmentée. In-8°, XII-920 p. avec 535 fig. 12 fr (1185)

GIRARD (J. de). — Phosphines dérivées des aldéhydes. In-4°, 67 p. (3928)

GRIMAUX (E.). — Introduction à l'étude de la chimie : Théories et notations chimiques; premières leçons du cours professé à l'École polytechnique. In-18 jésus, IV-248 p. (404)

GUÉBHARD (A.). — Sur la force électromotrice des dépôts électrolytiques de peroxyde de plomb. In-8°, 7 p. avec 2 fig. (*Assoc. franç. pour l'avanc. des sciences.* Congrès de Rouen, 1883.) (5576)

HAUTEFEUILLE (P.) et J. CHAPPUIS. — Recherches sur l'acide perazotique. In-4°, 20 p. avec 3 fig. (4217)

—— Recherches sur l'ozone. In-4°, 32 p. avec 7 fig. (4218)

HOSPITALIER (E.). — La physique moderne : les principales applications de l'électricité. (Les sources d'électricité; l'éclairage électrique; téléphone, etc.) 3ᵉ *édition*, entièrement refondue. In-8°, VIII-327 pages avec 142 gravures et 4 planches. (2344)

JAMIN et BOUTY. — Cours de physique de l'École polytechnique. 3ᵉ *édition*, augmentée et entièrement refondue par M. Jamin, de l'Institut, et Bouty, professeur de physique. T. IV. La pile, les aimants; application de l'électricité ; complément, tables. In-8°, 745 p. avec 284 fig. (2348)

KOLB (J.). — Sur l'évolution actuelle de la grande industrie chimique. In-8°, 12 p. Lille. (2076)

LACOMBE (G.). — Note sur le dosage des huiles végétales en présence des hydrocarbures. In-8°, 7 p. Lille. (5894)

LADUREAU (A.). — L'Acide phosphorique dans les terres arables du Nord. In-8°, 6 p. Lille. (2079)

LEMOINE (G.). — Notes de voyage sur quelques progrès récents des industries chimiques et métallurgiques en Angleterre; par M. G. Lemoine, ingénieur des ponts et chaussées. In-4°, 23 p. avec fig. (Extr. du *Bull. de la Soc. d'encouragement pour l'industrie nationale.*) (971)

LIBERT. — Notes sur la pneumatique et sur la dissolution des gaz. In-8°, 18 p. Morlaix. (Extr. du *Bull. de la Soc. d'études scientifiques du Finistère.*) (5097)

LIMOUSIN, F. LE BLANC et SCHMITZ. — Le matériel des arts chimiques, de la pharmacie et de la tannerie à l'Exposition universelle internationale de 1878, à Paris, In-8°, 180 p. (*Rapports du jury international.*) (457)

Lumière (la) Edison, système d'éclairage électrique, transmission de la force motrice à domicile. 10° *édition*. In-18, 59 p. avec 9 fig. (6422)

MARCHAND (E.). — Sur la mesure de la force chimique contenue dans la lumière du soleil. In-8°, 6 p. avec fig. (*Assoc. franç. pour l'avancement des sciences*. Congrès de Rouen, 1883.) (5620)

MARGUERITE-DELACHARLONNY (P.). — Sur l'hydrate type d'alumine neutre. In-8°, 10 p. avec fig. (Extr. des *Ann. de chimie et de physique.*) (4277)

MASCART, F. de NERVILLE et R. BENOIT. — Résumé d'expériences sur la détermination de l'ohm et de sa valeur en colonne mercurielle. Gr. in-8°, 71 p. (5623)

MATHIEU (E.). — Théorie de la capillarité. In-4°, 199 p. (1248)

DU MONCEL (T.) et F. GERALDY. — L'électricité comme force motrice. 2° *édition*. In-18 jésus, 319 p. avec 117 fig. 2f,25. (3690)

MOUTIER (J.). — Cours de physique, comprenant les matières d'enseignement de la classe de mathématiques spéciales. T. I. Fascicule 1. In-8°, p. 1 à 640. 6 fr. (3755)

NORMANDY (A.) et H. NOAD. — Manuel commercial d'analyse chimique, ou instructions pratiques pour déterminer la valeur intrinsèque ou commerciale des substances employées dans les manufactures, le commerce et les arts; par A. Normandy. *Nouvelle édition*, considérablement revue et augmentée par Henry Noad, Ph. D., F. R. S., professeur de chimie. Traduit et remis au courant des connaissances scientifiques actuelles, par L. Quéry et L. Debacq, pharmaciens de première classe. In-18 jésus, XII-507 p. avec 110 fig. (483)

PELLAT (H.).— Cours de physique à l'usage des élèves de la classe de mathématiques spéciales. T. I. Première partie : Travail des forces, énergie, mesures absolues, pesanteur, hydrostatique, pneumatique, hydrodynamique. In-8°, X-362 p. avec 158 fig. (3250)

—— Cours de physique à l'usage des élèves de la classe de mathématiques spéciales. T. I. Deuxième partie : Thermométrie, dilatations, changements d'état, densité des gaz,

hygrométrie, calorimétrie, thermodynamique. In-8°, p. 363 à 830 avec fig. (1269)

Post (J.). — Traité complet d'analyse chimique appliquée aux essais industriels; par J. Post, professeur à l'Université de Gœttingue. Avec la collaboration de plusieurs chimistes. Traduit de l'allemand par L. Gautier et P. Kienlen. In-8°, VIII-1143 p. avec 274 fig. 28 fr. (4330)

Resal (H.). — Physique mathématique : Électrodynamique, capillarité, chaleur, électricité, magnétisme, élasticité. In-4°, VI-376 p. avec fig. (1286)

Salles (A.).— Expériences sur l'évaporation faites à Arles pendant les années 1876 à 1882. In-4°, 7 p. Marseille. (2181)

Savy (E.). — Applications diverses de l'électricité. In-8°, 7 p. et 2 pl. Lille. (2184)

Violle (J.). — Note sur les expériences effectuées pour la détermination de l'étalon absolu de lumière. Gr. in-8°, 20 p. avec 3 fig. (5732)

Vivarez (H.). — Des fils de cuivre et de bronze silicieux dans les transmissions électriques. In-8°, 30 p. (2218)

Weiller (L.). — Recherches sur la conductibilité électrique des métaux et de leurs alliages, rapports avec la conductibilité calorifique. In-16, 47 p. (6542)

Zenger (C. V.). — Le Parallélipipède de dispersion, sa construction et ses applications. In-8°, 4 p. avec fig. (*Assoc. franç. pour l'avancement des sciences*. Congrès de Rouen, 1883.) (5739)

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

Acy (E. d'). — Silex préhistoriques de la station de Chelles. In-8°, 15 p. (Extr. des *Bull. de la Soc. d'anthropologie de Paris*). (5466)

Arnaud (H.). — De la division du turonien et du sénonien en France, synchronisme de ces étages dans le nord et dans le sud-ouest de la France. In-8°, 19 p. et tableau. Angoulême. (1346)

Barrois (H.).— Recherches sur les terrains anciens des Asturies et de la Galice (Espagne). In-8°, 13 p. et pl. (*Assoc. franç. pour l'avancement des sciences*. Congrès de Rouen, 1883). (5761)

Bleicher. — Nancy avant l'histoire. In-8°, 31 p. Nancy. (Extr. des *Mém. de l'Académie de Stanislas*). (1959)

Bouchet (C.). — Les silex tertiaires de Thenay. In-8°, 13 p. et 2 pl. Vendôme. (6263)

BRONGNIART (Ch.). — Aperçu sur les insectes fossiles en général et observations sur quelques insectes des terrains houillers de Commentry (Allier). In-8°, 15 p. et pl. Montluçon. (1971)

BUCAILLE (E.). — Sur la répartition des échinides dans le système crétacé du département de la Seine-Inférieure. In-8°, 6 p. (*Assoc. franç. pour l'avancement des sciences.* Congrès de Rouen, 1883.) (6596)

CABANNE (P.). — Sur les silex taillés et les ossements fossiles trouvés dans une sablière de la commune de Miramont (Lot-et-Garonne), et sur les dépôts préchelléens des environs de Coutras (Gironde). In-8°, 3 p. Bordeaux. (Extr. des *Comptes rendus des séances de la Soc. linnéenne de Bordeaux.*) (1371)

CHAUVET (G.). — Les Polissoirs préhistoriques de la Charente. In-8°, 15 p. et 2 pl. Angoulême. (Ext. du *Bull. de la Soc. historique et archéologique de la Charente.*) (6291)

CLOUET (J.). — Étude sur la chaux phosphatée naturelle de la Seine-Inférieure. In-8°, 10 p. (*Assoc. franç. pour l'avancement des sciences.* Congrès de Rouen, 1883.) (5806)

COSSMANN et J. LAMBERT. — Étude paléontologique et stratigraphique sur le terrain oligocène marin aux environs d'Étampes. In-4°, 202 p. avec fig. et 6 pl. (Extr. des *Mém. de la Soc. géol. de France.*) (6625)

DELAUNEY (J.). — Lois des grands tremblements de terre et leur prévision. 3° *édition*. In-8°, 61 p. 3 fr. (358)

DEMOULIN (Mme G.). — Les Richesses minérales : Charbons, Pierres et Métaux. 2° *édition*. In-32, 128 p. avec vign. 60 c. (5276)

DESCOSSE (F.). — La découverte des sources certaines et infaillible, vulgarisée et mise à la portée de tout le monde. In-8°, 47 p. Forcalquier. (1748)

DRU (L.). — Rapport sur les eaux minérales du Caucase (mission de 1882). In-4°, 115 p. et 55 pl. col. (6877)

FILHOL (E.) et J.-B. SENDERENS. — Analyse des nouvelles sources minérales de Bagnères-de-Bigorre. In-8°, 19 p. Bagnères-de-Bigorre. (4193)

FONTANNES (F.). — Diagnoses d'espèces et de variétés nouvelles des terrains tertiaires du bassin du Rhône. In-8°, 9 p. Lyon. (2135)

—— Description sommaire de la faune malacologique des formations saumâtres et d'eau douce du groupe d'Aix (bartonien-aquitanien) dans le Bas-Languedoc, la Provence et le Dauphiné. In-8°, 60 p. et pl. (6340)

Gainet. — Le Déluge de Noé et les Terrains quaternaires des géologues. In-8°, xlii-194 p. Besançon. (5036)

Gosselet (J.). — Cours élémentaire de géologie à l'usage de l'enseignement secondaire. 7e *édition*. In-12, iv-209 p. avec fig. (398)

Von Groddeck (A.). — Traité des gîtes métallifères; par Alb. Von Groddeck, directeur de l'Académie royale des mines de Clausthal. Traduit de l'allemand par H. Kuss, ingénieur des mines. In-8°, xxii-479 p. avec 109 fig. (6227)

Jacobs (H.) et N. Chatrian. — Le Diamant. In-4°, vii-356 p. avec pl. hors texte et 34 fig. 26 fr. (1803)

Jeanjean (A.). — Étude sur les terrains jurassiques des Basses-Cévennes. In-8°, 32 p. avec tableau et pl. Nîmes. (Extr. des *Mém. de l'Acad. de Nîmes.*) (6739)

Croisiers de Lacvivier. — Études géologiques sur le département de l'Ariège et en particulier sur le terrain crétacé. In-8°, 308 p. avec fig. (4470)

Lapparent (A. de). — Cours de minéralogie. In-8°, iv-364 519 fig. p. avec et pl. chromo-lithographiée. 15 fr. (677)

Lefort (F.). — Observations géologiques sur les failles du département de la Nièvre. In-8°, 45 p. et pl. Nevers. (3502)

Lenthéric (C.). — Le Rhône primitif. In-8°, 63 p. et pl. Nîmes. (5336)

Leymerie (A.). — Description géologique et paléontologique des Pyrénées de la Haute-Garonne; ouvrage avec de nombreuses figures dans le texte, accompagnée d'une carte topographique et géologique à l'échelle de 1/200.000, et d'un atlas contenant 21 planches de coupes et vues géologiques et 30 planches lithographiées de fossiles caractéristiques des terrains. In-8°, xvii-1010 p. Toulouse. (692)

Longchêne (de). — Le Monde souterrain, ou Merveilles géologiques. 14e *édition*, entièrement refondue et mise au niveau des connaissances actuelles. In-8°, 215 p. avec vign. Tours. (5919)

Mallard (E.). — Traité de cristallographie géométrique et physique. T. II : Cristallographie physique. In-8°, vi-600 p. avec 184 fig. et 8 pl. (461)

Maufras (E.). — L'époque néolithique dans le bassin de la Charente et le Camp du Peu-Richard. In-8°, 28 p. et 3 pl. Paris. (Ext. du *Bull. de la Soc. des archives historiques de la Saintonge et de l'Aunis.*) (5354)

Meunier (S.). — Histoire naturelle des pierres et des terrains. Géologie, 2e *édition*, revue et corrigée. In-18 jésus, 160 p. avec 90 fig. et une carte géologique. (154)

MEUNIER (S.). — Premières notions de géologie : les Pierres et les Terrains; 2e *édition*, revue et corrigée. In-12, VIII-160 p. avec 63 fig. (3199)

MILLIARD (A.). — L'âge de la pierre à Fédry (Haute-Saône). In-8°, 11 p. (Extr. du *Bull. de la Soc. d'agriculture, sciences et arts de la Haute-Saône.*) (4293)

NADAILLAC (de). — De la période glaciaire et de l'existence de l'homme durant cette période en Amérique. In-8°, 16 p. (Extr. de la Revue : *Matériaux pour l'histoire primitive de l'homme.*) (6170)

ŒHLERT (D.). — Note sur la *Terebratula* (*Centronella*) *Gueranger*i. In-8°, 11 p.; Angers. (Extr. du *Bull. de la Soc. d'études scientifiques d'Angers.*) (5958)

OLLIER DE MARICHARD. — Découverte d'un trésor de l'âge du bronze au Dévoc, grottes de Vallon (Ardèche). In-8° avec fig. (Extr. de la Revue : *Matériaux pour l'histoire primitive de l'homme.*) (6174)

PETITON. — Étude pétrographique des roches de l'Indo-Chine. In-8°, 12 p. (*Assoc. franç. pour l'avancement des sciences.* Congrès de Rouen, 1883.) (5661)

PRUNIÈRES. — Les Troglodytes et les Dolméniques des causses lozériens. In-8°, 11 p. (Extr. du même recueil.) (7041)

—— Tumuli des âges du bronze et du fer sur les causses lozériens. In-8°, 9 p. (Extr. du même recueil.) (7042)

PUECH (L.). — Bible et Géologie, ou Exposé des rapports qui existent entre la science et la révélation; 2e *édition*. In-18, 461 p. (1015)

ROUVILLE (P. de). — Quelques mots sur le jurassique supérieur méditerranéen. In-8°, 7 p.; Montpellier. (Extr. de la *Revue des sciences naturelles.*) (1584)

SCHLUMBERGER. — Sur le *Biloculina depressa* d'Orb. au point de vue du dimorphisme des foraminifères. In-8°, 8 p. avec fig. (*Assoc. franç. pour l'avancement des sciences.* Congrès de Rouen, 1883.) (6007)

TORCAPEL (A.). — Sur les alluvions tertiaires et quaternaires du Gard et de l'Ardèche. In-8°, 15 p. Nîmes. (1606)

WOHLGEMUTH (J.). — Recherches sur le jurassique moyen à l'est du bassin de Paris (études critiques sur la valeur des caractères paléontologiques). Première partie : Stratigraphie. In-8°, 346 p. et pl. Nancy. (1916)

4° Mécanique. — Exploitation des mines. — Droit des mines.

Blavier (A.). — Statistique minérale de Grande-Bretagne et de France, d'après les plus récents documents. In-8°, 14 p. Angers. (1958)

Boussemaer (A.). — Les transmissions par cordes dans les imprimeries. In-8°, 31 p. et pl. Lille. (6839)

Brull (A.). — Mémoire sur la chaîne flottante des mines de fer de Dicido (province de Santander, Espagne). In-8°, 41 p. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils.*) (856)

Carvallo (E.). — Leçons de statique. In-8°, 94 p. avec 81 fig. 2 fr. (6075)

Clerc (A.). — Notes sur les machines Dubois et François permettant de supprimer l'emploi de la poudre dans l'exploitation des mines de charbon à grisou. In-8°, 16 p. et 2 pl. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils.*) (2293)

Colladon (D.). — Georges Leschot et l'invention des perforatrices à diamant. In-8°, 10 p. (Extr. des *Proc.-verb. de la Soc. des ingénieurs civils.*) (4459)

Couriot (H.). — L'industrie des mines devant le parlement. In-8°, 31 p. (Extr. des *Comptes rendus des travaux de la Soc. des ingénieurs civils.*) (5813)

Durand (E.). — Sur la législation minière aux États-Unis. In-4°, 6 p. (2314)

Fusteguéras et Hergot. — Traité de mécanique théorique et appliquée. Deuxième partie : moteurs et récepteurs industriels, moteurs hydrauliques, pompes et accumulateurs, moteurs à vapeur, etc., 2° *édition*, entièrement refondue et augmentée. In-8°, 455 p. avec 227 fig. (2844)

Garrigou-Lagrange (P.). — Questions dynamiques : observations sur le mouvement et le choc des systèmes invariables. In-8°, 39 p. (2546)

Haton de la Goupillière. — Cours d'exploitation des mines. T. I. In-8°, xvi-795 p. avec 453 fig. (411)

—— Note sur les méthodes d'exploitation souterraine fondées sur l'abandon de massifs. In-8°, 10 p.; Nîmes. (Extr. du *Bull. de la Soc. d'études des sciences naturelles de Nîmes.*) (5062)

Jaunez (A.). — Manuel du chauffeur, guide pratique à l'usage des mécaniciens, chauffeurs et propriétaires de machines à vapeur, exposé des connaissances qui leur sont nécessaires,

suivi de conseils afin d'éviter les explosions des chaudières à vapeur. 2e *édition*. In-18 jésus, 218 p. avec 36 fig. 2 fr. (6378)

JOURDAIN. — Note sur les associations des propriétaires d'appareils à vapeur. In-8°, 20 p. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils.*) (2349)

LACUBE. — Moteur équilibré à grande vitesse et à organes réduits, graissage unique par la vapeur, système Jacomy, lieutenant d'artillerie. In-8°, 4 p. et pl. (Extr. du *Bull. technol. de la Soc. des anciens élèves des écoles nationales d'arts et métiers.*) (4559)

LAURENT (P.). — Des freins hydrauliques à résistance constante et à matelas d'air. In-8°, 27 p. et fig. (Extr. de la *Revue d'artillerie.*) (3968)

LELOUTRE (G.). — Mémoire sur les transmissions par courroies, cordes et câbles métalliques. In-8°, 348 p. Lille. (Supplément au *Bull. de la Soc. industrielle du Nord de la France.*) (451)

LEPERDRIEUX (C.). — Le nouveau générateur Le Hérisson. In-8°, 20 p. avec 5 fig. (Extr. du *Bull. technol. de la Soc. des anciens élèves des écoles nationales des arts et métiers.*) (3742)

MORANDIÈRE (J.). — Notes sur les ressorts en rondelles d'acier du système Belleville. In-8°, 15 p. et 3 pl. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils.*) (3530)

MOUILLARD (A.). — La force centrifuge appelée à remplacer la vapeur. In-8°, 16 p. avec fig. (2644)

PÉRISSÉ (S.). — Du prix de revient des machines en France, en Angleterre, en Allemagne, conclusions au point de vue de l'importation et de l'exportation. In-8°, 40 p. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils.*) (4316)

PROU (V.). — Les ressorts battants de la chirobaliste d'Héron d'Alexandrie, d'après les expériences de 1878 et suivant la théorie qui en a été déduite en 1882. In-4°, 63 p. (6479)

ROUGERIE (Mgr). — L'Anémogène, appareil producteur de courants semblables aux courants atmosphériques; par Mgr Rougerie, évêque de Pamiers. In-8°, 3 p. avec fig. (*Assoc. franç. pour l'avancement des sciences.* Congrès de Rouen, 1883.) (5998)

Statistique de l'industrie minérale et des appareils à vapeur en France et en Algérie pour l'année 1882. Résumé des travaux statistiques de l'administration des mines en 1883, avec un appendice concernant la statistique minérale internationale. In-4°, 207 p. et carte des eaux minérales de la France. 8 fr. (4066)

STAPFER (D.). — Les moteurs à gaz appliqués à l'éclairage élec-

trique. In-8°, 17 p. et pl. Marseille. (Extr. du *Bull. de la Soc. scientifique industrielle de Marseille.*) (1898)

TOMMASI (D.). — De l'utilisation comme énergie électrique de la force hydraulique perdue au barrage de Gileppe. In-8°, 8 p. avec vign. (544)

VILLARCEAU (Yvon). — Exposé concernant les régulateurs isochrones à ailettes, rédigé en prenant pour base les notions les plus élémentaires de la science. In-8°, 26 p. et pl. Vendôme. (Extr. du *Bull. de la Soc. archéologique, scientifique et littéraire du Vendômois.*) (1621)

VINSONNEAU (J.). — Vanne double. In-8°, 4 p. et pl. Lille. (1625)

WITZ (A.). — Étude sur les moteurs à gaz tonnant. In-8°, 75 p. avec 13 fig. et pl. (Extr. des *Ann. de chimie et de physique.*) (4095)

5° *Constructions. — Chemins de fer.*

Annuaire officiel des chemins de fer, contenant un résumé analytique des documents législatifs, historiques, statistiques, administratifs et financiers relatifs aux chemins de fer français et étrangers; par Frédéric Dubois, docteur en droit, sous-directeur de l'imprimerie Chaix. 33° année. (Exercice 1881.) In-18 jésus, VIII-388 p.. (3026)

BANDERALI (D.). — Les trains express en 1883, conférence faite au Conservatoire national des arts et métiers à Paris, le 18 mars 1883. In-8°, 75 p. et pl. Lille. (1664)

BORDES-PAGÈS. — Chemins de fer à travers les Pyrénées centrales; Nouvelles instances. In-12, 20 p. Foix. (3856)

BRUN (F.). — Traité pratique des opérations sur le terrain. Description, vérification et emploi des instruments servant aux tracés et nivellements. 3° *édition*, revue et augmentée, comprenant la description des instruments diastimométriques de MM. Peaucellier et Wagner, officiers supérieurs du génie. In-8°, 88 p. avec fig. et 24 pl. (857)

BUSQUET (L.). — Chemin de fer à navires reliant l'Océan à la Méditerranée. In-8°, 11 p. Bordeaux. (4960)

CARRO (T.). — Navigation intérieure, canalisation des fleuves et rivières, extension de l'application du système de barrage Desfontaines. In-8°, 42 p. et 2 pl. Meaux. (6601)

Chemin de fer (le) tubulaire à vapeur. (Accidents de chemins; catastrophes; systèmes tubulaires à air dilaté, à air comprimé, à vapeur; sécurité, etc.) In-8°, 63 p. (5257)

Combier (C.). — Tables des courbes de raccordement contenant les divers éléments du tracé des courbes circulaires. *Nouvelle édition*, entièrement refondue à l'effet de rendre ces tables spécialement applicables au piquetage des courbes de chemins de fer. In-18, xxviii-207 p. avec fig. (1727)

Deligny (E.). — Le Chemin de fer métropolitain de Paris. In-8°, 76 p. et pl. 0f,60. (4478)

Durand-Claye. — Assainissement de Paris. Observations des ingénieurs du service municipal de Paris, au sujet des projets de rapport présentés par MM. A. Girard et Brouardel. In-8°, 51 p. (5838)

Fleury (J.). — De l'élargissement du canal de Suez. In-8°, 8 p. (Extr. du journal *le Génie civil.*) (5565)

Fontaine (O.). — Prix élémentaires des matériaux de construction dans l'Aube et à Troyes, accompagnés de renseignements pratiques à l'usage des constructeurs. Troisième partie. Les Terres cuites. In-8°, iv-159 p. avec tableaux. Troyes. (3451)

Gobin. — Appareil remplaçant automatiquement les pétards des disques d'arrêt absolu (invention de M. Supéry, ingénieur-constructeur à Lyon). In-8°, 2 p. (*Assoc. franç. pour l'avancement des sciences.* Congrès de Rouen, 1883.) (3458)

Guillemin (A.). — Les Chemins de fer. II. La Locomotive ; le Matériel roulant; l'Exploitation. 7e *édition.* In-18 jésus, 383 p. avec 75 fig. 2f,25. (6130)

Haag (P.). — Le Chemin de fer métropolitain de Paris (résumé). In-8°, 5 p. (*Assoc. franç. pour l'avancement des sciences.* Congrès de Rouen, 1883.) (1795)

Marc (E.). — Les Travaux publics chez les anciens et chez les modernes, leur transformation par suite de la création des chemins de fer; le Viaduc du val Saint-Léger, près de Saint-Germain-en-Laye; les Chemins de fer : origine, historique, régime français, régime étranger, résultats comparatifs, parallèle entre les travaux anciens et ceux de notre temps, les œuvres modernes. In-8°, 112 p. et pl. (4583)

Neymarck (A.). — Les Conséquences financières des conventions de chemins de fer. In-8°, 12 p. (Extr. du journal *le Rentier.*) (1852)

Noël (O.). — Le Réseau de l'État et le Déficit. In-8°, 32 p. (Extr. de la *Revue britannique.*) (4002)

Partiot (L.). — Instruction pour la préparation des projets et la surveillance des travaux de construction de la plate-forme des chemins de fer, suivi de tables pour le calcul des courbes

et pour l'évaluation des volumes des déblais et des remblais. In-4°, 182 p. avec figures intercalées et 8 pl. (7023)

PASSY (F.). — Le Petit Poucet du XIX° siècle : Georges Stephenson et la naissance des chemins de fer. 3° *édition*. In-18 jésus, 192 p. avec vign. 1 fr. (6181)

PÉRISSÉ (S.). — De l'emploi de l'acier dans les constructions navales, civiles et mécaniques. In-8°, 79 p. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils.*) (3253)

PRÉAUDEAU (A. DE). — Manuel hydrologique du bassin de la Seine. Sous la direction de M. Ch. Lefébure de Fourcy, inspecteur général, directeur du service hydrométrique du bassin de la Seine, et de M. G. Lemoine, ingénieur en chef, chargé du service hydrométrique du bassin de la Seine. In-4°, IV-124 p. avec 2 cartes et 7 pl. (5667)

Réforme (la) des tarifs de chemins de fer. In-8°, VII-80 p. (Extr. du *Journal des transports.*) (4857)

Traverses (les) métalliques en Allemagne d'après un rapport de M. Jungbecker, inspecteur de la construction et de l'exploitation du chemin de fer de Berg et Marche. In-8°, 20 p. avec fig. (Extr. du journal *le Génie civil.*) (3603)

6° *Sujets divers.*

APPERT. — Note sur l'emploi de l'air comprimé pour le soufflage et le travail du verre. In-8°, 18 p. et planche. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils.*) (820)

BARBIER (J. V.). — De l'emploi de la projection conique dans un atlas systématique uniprojectionnel. *Nouvelle édition*, rectificative et complémentaire de celle de 1878, avec deux cartes. In-8°, 20 p. Nancy. (Extr. du *Bull. de la Soc. de géographie de l'Est.*) (2258)

BESSELIÈVRE (C.). — De la participation des ouvriers aux bénéfices du patron. In-8°, 5 p. (*Assoc. franç. pour l'avancement des sciences.* Congrès de Rouen, 1883.) (4726)

BISSON (E.). — Nouveau compas de mer donnant la direction vraie du méridien magnétique sur les navires en fer, notice complémentaire. In-8°, 12 p. avec 3 fig. (6581)

BLAVIER (A.). — Étude sur la question de responsabilité civile en cas d'accidents. In-8°, 22 p. Angers. (1957)

BOURGUIGNAT (J. R.).—Mollusques fluviatiles du Nyanza Oukéréwé (Victoria-Nyanza), suivis d'une note sur les genres Cameronia et Burtonia du Tanganika. In-8°, 23 p. et planche. (314)

CHARLEMAINE (L.). — Traité théorique et pratique du jaugeage des navires à voiles et à vapeur. In-18 jésus, 143 p. (330)

CHEYSSON (E.). — Les pensions civiles des employés de l'État. In-8°, 15 p. (Extr. du *Journal de la Soc. de statistique de Paris.*) (1722)

CHOISY (A.). — Études sur l'architecture grecque. Quatrième étude : Un devis de travaux publics à Livadie. In-4°, 67 p. et planche. (3071)

—— Études épigraphiques sur l'architecture grecque. In-4°, VIII-243 p. avec fig. et planches. (3867)

Documents relatifs à la mission dirigée au sud de l'Algérie par le lieutenant-colonel Flatters. Journal de route : rapports des membres de la mission; correspondance. In-4°, VI-447 p. avec fig., planches et cartes. (5546)

DUMAS (J. B.). — Éloges historiques de Charles et Henri Sainte-Claire Deville; par M. J.-B. Dumas, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences. In-4°, 39 p. (6329)

FAIDHERBE. — Le Soudan français, chemin de fer de Médine au Niger; par le général Faidherbe. Deuxième partie. In-8°, 20 p. et carte. Lille. (79)

FRÉDÉ (P.). — La Sibérie : état social, climat, mœurs, société, richesses minérales, commerce, routes, canaux, etc. In-8°, 224 p. et gravures. Rouen. (5569)

GARNOT. — Du caractère du droit à l'indemnité en matière de dommages suite de travaux publics, recevabilité de l'expertise. In-8°, 12 p. (Extr. de la *Revue générale d'administration.*) (5039)

GUYOU (E.). — Des variations de stabilité des navires. In-8°, 16 p. avec figures. (Extr. de la *Revue maritime et coloniale.*) (1794)

HÆCKEL (E.). — Histoire de la création des êtres organisés d'après les lois naturelles. Conférences scientifiques sur la doctrine de l'évolution en général et celle de Darwin, Gœthe et Lamarck en particulier. Traduites de l'allemand par le docteur Ch. Letourneau et revues sur la 7e édition allemande. 3e *édition*. In-8°, XII-606 p. avec 17 pl., 20 grav. sur bois, 21 tableaux généalogiques et carte chromolithographiée. 15 fr. (3935)

HAUET (A.). — La mer intérieure, réponse à M. le commandant Roudaire. In-8°, 16 p. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils.*) (2055)

JANDEL (A.). — Manuel du marchand de bois en quatre tableaux, comprenant : 1° le solivage des bois ronds ; 2° celui des bois

carrés; 3° la réduction des pouces en solives : 4° enfin l'estimation des bois carrés, le tout précédé de quelques instructions et d'une règle facile pour éviter les multiplications complexes. In-12, 162 pages. Saint-Dié. (5310)

LAPLAICHE (A.). — Manuel du candidat à l'emploi de commissaire de surveillance administrative des chemins de fer. 2e *édition*, revue et augmentée. Ouvrage rédigé conformément aux programmes officiels, avec un appendice sur les nouveaux appareils en usage. In-12, VIII-223 p. avec figures. (2599)

LEBON (E.). — Notice nécrologique sur Jules de La Gournerie. In-4°, 8 pages. (964)

MAHÉ DE LA BOURDONNAIS (A.). — La route française au Tonkin; canal de Malacca; avant-projet de percement de l'isthme de Kra ou de Malacca présenté à M. F. de Lesseps le 1er mai 1883, et adressé à Sa Majesté le roi de Siam le 8 juin; conférence faite à la société académique indo-chinoise, le 30 mai 1883. Avec une carte. In-8°, 16 p. (701)

MILLOT (C.). — Étude sur les orages dans le département de Meurthe-et-Moselle. In-8°, 20 p. Nancy. (Extr. du *Bull. de la Soc. des sciences de Nancy.*) (2108)

MILNE-EDWARDS (A.). — L'expédition du Talisman faite dans l'Océan atlantique; par M. A. Milne-Edwards, de l'Institut, président de la commission des dragages sous-marins. In-8°, 31 p. (Extr. du *Bull. hebdom. de l'Assoc. scientifique de France.*) (3749)

NANSOUTY (M. de). — Communication sur les attachés-ingénieurs dans les consulats, rôle et avenir de l'ingénieur civil français à l'étranger. In-8°, 10 p. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils.*) (3998)

RIDEL (S.). — Nouvelle méthode de calcul à l'aide d'un appareil à caractères mobiles et adhérents. Deuxième partie. In-8°, 68 p. avec figures. 2 fr. Rouen. (5147)

ROISSARD DE BELLET. — La Sardaigne à vol d'oiseau en 1882, son histoire, ses mœurs, sa géologie, ses richesses métallifères et ses productions de toute sorte. In-4°, 349 p. avec carte, gravures et dessins coloriés. (2973)

SAUTAYRA (E.). — Législation de l'Algérie, lois, ordonnances, décrets et arrêtés par ordre alphabétique, avec notices et deux tables (analytique et chronologique); par E. Sautayra, premier président de la cour d'Alger, H. Hugues et P. Lapra, conseillers à la même cour. T. II, 1er juillet 1878-1er octobre 1883. Grand in-8° à 2 col., 418 pages. (1893)

Schmidt (J.). — Rapport à l'Académie royale des sciences de Berlin sur le voyage exécuté d'après ses instructions pendant l'hiver 1882-83 en Algérie et en Tunisie. Traduit par M. E. Masqueray. In-8°, 8 p. Alger. (1593)

Simonet (J.-B.). — Traité élémentaire de droit public et administratif, contenant les matières exigées par les programmes des facultés de droit, du conseil d'État, de la cour des comptes, des ministères de l'intérieur, des finances, de la guerre, des travaux publics, de l'instruction publique et par ceux de la préfecture de la Seine, de l'administration de l'enregistrement, etc.: par J. B. Simonet, chef de bureau à la préfecture de la Seine. Fascicule 1. Droit politique et constitutionnel. In-8°, p. 1 à 352. L'ouvrage complet 12f,50. (536)

Sonnet (H.). — Dictionnaire des mathématiques appliquées, comprenant les principales applications des mathématiques à l'architecture, à l'arithmétique commerciale, à l'arpentage, à 'artillerie, etc., et l'explication d'un grand nombre de termes techniques usités dans les applications. In-8° à 2 col., IV-1478 p. avec 1900 fig. 30 fr. (4060)

OUVRAGES BELGES.

Van Beneden. Description des ossements fossiles des environs d'Anvers. 3e partie. Cétacés: *Megaptera*, *Balænoptera*, *Burtinopsis* et *Erpetocetus*. Bruxelles. In-f°, 88 p., av. 70 pl. 125 fr.

Prinz et **van Ermengem**. Recherches sur la structure de quelques diatomées contenues dans le « Cementstein » de Jutland. Bruxelles. In-8°, 74 p., av. 4 pl. 5 fr.

Gendebien. Les ventilateurs à force centrifuge des mines et des forges. Bruxelles. In-8°, 132 p. 3f,75.

OUVRAGES ANGLAIS.

Hawtrey. *An introduction...* Introduction aux éléments d'Euclide. Part. 1. 4e édition. In-8°, 160 p. 1f,90.

Johnson. *An elementary treatise...* Traité élémentaire de calcul intégral. In-8°. 10 fr.

Rice and **Johnson**. *An elementary treatise...* Traité élémentaire de calcul différentiel, fondé sur la méthode des fluxions. 3e édition, revue. Demi in-8°. 20 fr.

—— —— Le même, édition abrégée. Demi-in-8°. 10 fr.

Gray. *Absolute measurements...* Mensurations absolues en électricité et en magnétisme. In-12. 4f,40.

Newlands. *On the discovery...* Sur la découverte de la loi périodique et sur les relations entre les poids atomiques. In-12. 4f,40.

Odling. *Chemistry.* Chimie. In-12, 126 p. 0f,65.

Watts. *Physical...* Chimie physique et inorganique, fondée sur le manuel du professeur Fownes. In-8°. 11f,25.

Greenwood. *Steel and iron...* Acier et fer; comprenant la pratique et la théorie des diverses méthodes suivies dans leur fabrication. In-12, 538 p., av. 97 diagrammes. 6f,25.

Hopton. *Conversations...* Causeries sur les mines entre un père et un fils. In-8°, 280 p. 3f,75.

Maclean. *The british railway...* Le système de chemins de fer de l'Angleterre. In-8°, 100 p. 1f,90.

Seaton. *Manual...* Manuel de l'ingénieur de la marine. 3e édition. In-8°, 456 p. 22f,50.

Report on the scientific... Rapport sur les résultats scientifiques du voyage du *Challenger* pendant les années 1873-76; préparé sous la direction de feu *C. Wyville Thomson* et aujourd'hui de *John Murray*. Zoologie; vol. viii. In-4°. 50 fr. — Physique et chimie, vol. I. 26f,25.

Parliamentary. Explosion... Explosion à la houillère d'Altham. 2f,75.

—— *Mineral statistics...* Statistique minérale pour 1882. 2f,10.

—— *Railway accidents...* Accidents de chemins de fer. Rapport pour 1883 et comptes rendus. 5 fr.

—— —— *Continuous...* Freins continus. Rapports. 1f,70.

Collins. *Mineralogy.* Minéralogie. In-12. Vol I. 3f,75. — Vol. II, 326 p. 3f,75.

Daniell. *A text-book...* Traité des principes de la physique. In-8°, 642 p. 26f,25.

Morgan. *Facts...* Les faits qui nous entourent; lectures sur la science inorganique. In-18, 164 p. 1f,90.

Semple. *Tablets...* Tables d'analyse chimique pour la découverte d'un métal et d'un acide. In-12, 52 p. 1f,25.

Fletcher. *Coal gas...* Le gaz de houille comme agent économique de travail. In-8°, 23 p. 0f,45.

Darwin. *Journal of researches...* Journal de recherches sur l'histoire naturelle et la géologie des pays visités pendant le voyage du *Beagle* autour du monde. Nouvelle édition. In-8°, 520 p. 11f,25.

BURGH. *The slide valve...* Le tiroir de distribution considéré pratiquement. In-8°, 142 p. 6f,25.

KNIGHT. *The practical dictionary...* Dictionnaire pratique de mécanique. Vol. IV. In-8°, 960 p.

HENNELL. *Hydraulic...* Tables hydrauliques et autres pour les projets de conduite et de distribution d'eaux. In-8°, 66 p. 5f,65.

UNWIN. *The elements...* Les éléments du dessin de machines. 6e édition, revue et augmentée. In-12, 516 p. 7f,50.

BESANT. *Enunciations...* Énoncés de propositions sur les sections coniques en géométrie. In-12, 82 p. 1f,90.

LOCK. *A treatise...* Traité de trigonométrie élémentaire et supérieure. In-12, 182 p. 9f,40.

—— —— Traité de trigonométrie supérieure. In-12, 194 p. 4f,40.

BARKER. *Introduction...* Introduction à l'analyse chimique (inorganique qualitative). In-12, 40 p. 0f,85.

BOGGETT. *Thoughts...* Idées sur la dépendance mutuelle de l'eau et de l'électricité, et sujets connexes. In-8°, 21 p. 0f,65.

DONNELLY. *Atlantis...* Atlantide; le monde antédiluvien. 7e édition. In-8°, 496 p. 15f,65.

HANDS. *Numerical exercises...* Exercices numériques sur la chimie. In-8°, 86 p. 3f,15.

REMSEN. *The principles...* Principes de chimie théorique. 2e édition, considérablement revue et augmentée. In-8°, 250 p. 9f,40.

SHARP. *Universel attraction...* Attraction universelle ; ses relations avec les éléments chimiques. Édimbourg. In-8°, 53 p. 1f,25.

STOKES. *On light...* Sur la lumière. Première leçon : sur la nature de la lumière. In-8°, 134 p. 3f,15.

SWINTON. *The principles...* Principes et pratique de l'éclairage électrique. In-8°, 172 p. 6f,25.

SYMONDS. *Old stones...* Roches anciennes : série de notes géologiques sur les roches plutoniques, volcaniques, précambriennes, siluriennes et dévoniennes des environs de Malvern. Nouvelle édition. In-12, 150 p. 2f,50.

HUNT. *British mining...* Exploitation des mines britanniques : traité de l'histoire, de la découverte, du développement et de l'avenir des mines métalliques du Royaume-Uni. In-8°, 956 p. 78f,75.

GROSS. *Elementary treatise...* Traité élémentaire de cinématique et de cinétique. Nouvelle édition. In-8°, 219 p. 6f,90.

Browne. *The student's handbook*... Manuel de l'étudiant en géologie physique. In-12, 520 p. 7f,50.

Fahie. *A. history*... Histoire de la télégraphie électrique jusqu'à l'année 1837. In-8°, 550 p. 11f,25.

Pember. *Earth's earliest ages*... Les premiers âges de la terre, et leur relation avec le spiritualisme et la théosophie modernes. Nouvelle édition. In-8°, 488 p. 9f,40.

Roscoe and Schorlemmer. *A treatise*... Traité de chimie. Vol. III: Chimie des hydrocarbures et de leurs dérivés. Part. 2. In-8°, 640 p. 26f,25.

Great industries... Grandes industries de la Grande-Bretagne. Nouvelle édition. Part. 1. In-4°, 32 p. 0f,65.

Adams. *Strains*... Les efforts dans les ouvrages en fer. In-8°, 62 p. 6f,25.

Munro and Jamieson. *A pocket book*... Manuel des lois électriques et tables à l'usage des électriciens et des ingénieurs. In-32. 9f,40.

Lupton. *Numerical tables*... Tables numériques et constantes de la science élémentaire. In-12, 110 p. 3f,15.

Smith. *An elementary treatise*... Traité élémentaire de géométrie dans l'espace. In-8°, 244 p. 11f,90.

Gordon. *A practical treatise*... Traité pratique de l'éclairage électrique. In-8°, 228 p. 22f,50.

Holmes. *Practical*... Éclairage électrique pratique. 2e édition. In-8°, 170 p. 4f,40.

Sprague. *Electricity*... L'électricité, sa théorie, ses sources et ses applications. 2e édition, considérablement augmentée. In-8°, 646 p. 18f,75.

Wanklyn and Chapman. *Water analysis*... Analyse de l'eau; traité pratique de l'examen de l'eau potable. 6e édition. In-8°, 190 p. 6f,25.

Charleton. *Tin; describing*... L'étain; description des principales méthodes employées à l'étranger pour l'extraction, la préparation mécanique et la fonte de son minerai; avec notes sur l'arsenic, le bismuth et le woflram. In-8°, 100 p. 15f,65.

Bale. *Stone-working*... Machines employées au travail de la pierre. In-8°, 186 p. 11f,25.

Davies. *A treatise*... Traité des minéraux terreux et autres, et leur exploitation. In-8°, 346 p. 15f,65.

Hudson. *Notes*... Notes sur les premiers principes de la dynamique. In-8°, 27 p. 1f,70.

Roberts. *A collection*... Collection d'exemples sur la géométrie

analytique des coniques planes, avec quelques exemples sur les sphéro-coniques. Dublin. In-8°, 214 p. 6f,25.

BARNES. *Rock history*... Histoire des roches, traité concis de géologie. In-8°, 126 p. 7f,50.

GARNETT. *An elementary treatise*... Traité élémentaire de la chaleur. 3e édition, revue et augmentée. In-8°, 246 p. 4f,40.

KEMPE. *Handbook*... Manuel des essais électriques. 3e édition. In-8°, 500 p. 18f,75.

PREECE and SIWEWRIGHT. *Telegraphy*. Télégraphie. 3e édition. In-12, 320 p. 6f,25.

ROSS. *The blowpipe*... Le chalumeau en chimie, en minéralogie et en géologie. In-8°, 210 p. 4f,40.

MACSWINNEY. *The law*... La loi des mines, carrières et minéraux. In-8°. 52f,50.

MARVIN. *The petroleum*... Le pétrole de l'avenir. In-8°. 1f,50.

OUVRAGES AMÉRICAINS.

DIXON. *The machinist's*... Le calculateur pratique des machinistes et des ingénieurs de machines à vapeur. New-York. In-16. 12f,50.

FISKE. *Electricity*... Électricité théorique et pratique. New-York. In-8°, 270 p. 15f,65.

SHALER. *On the fossil brachiopods*... Sur les brachiopodes fossiles de la vallée de l'Ohio. Cincinnati. In-4°, 44 p., avec 7 pl. 15 fr.

WILLIAMS. *Mineral resources*... Richesses minérales des États-Unis. Washington. In-8°, XVII-883 p. 7f,50.

WORTHEN. *Geological Survey*... Exploration géologique de l'Illinois. Vol. 7 : Géologie, par A.-H. Worthen; Paléontologie, par A.-H. Worthen, O.-St John et S.-A. Miller, avec appendice par C. Wachsmuth et W.-H. Barris. Springfield. In-4°, 373 p., avec 31 pl. 45 fr.

LOCKWOOD. *Electricity*... Électricité, magnétisme et télégraphie électrique. New-York. In-8°, II-377 p. 15f,65.

United States geological Survey. *Atlas to accompany*... Atlas pour accompagner la monographie de l'histoire tertiaire du district du Grand-Cañon; par le capitaine *Clarence E. Dutton*. 23 cartes. Washington.

—— *Tertiary history*... Histoire tertiaire du district du Grand-Cañon; par *Clarence E. Dutton*. In-4°, XIV-264 p.

—— *Twelfth annual*... Douzième rapport annuel. 1878.

— *Bulletin n° 1. On hypersthene andesite...* Sur l'andésite hypersthénique, et sur le pyroxène triclinique des roches augitiques; par *Whitman Cross*, avec une esquisse géologique des Buffalo Peaks, Colorado; par *S.-F. Emmons*. In-8°, 42 p.

— *Twelfth annual...* Douzième rapport annuel des territoires. In-8°. Part. 1, XVIII-809 p. Part. 2, XXIV-503 p.

— *Second annual...* Second rapport annuel au secrétaire de l'Intérieur, par *J.-W. Powell*, directeur. In-8°, LV-588 p.

COUES. *A speculation...* Considérations sur l'origine et la nature de la vie. Seconde édition. Boston. In-16, 66 p. 4f,40.

HUDSON. *Tables...* Tables pour le calcul du volume des excavations et des remblais par une méthode perfectionnée de diagonales et de triangles. New-York. In-8°, III-37 p. 5 fr.

TRYON. *Structural...* Conchyologie structurale et systématique. 3 volumes, avec 140 planches et 1 carte. Philadelphie. In-8°. En couleurs, 10f,55; simple, 6f,25. Édition à bon marché en 1 volume, avec planches sur papier mince, 3f,75.

CAMPBELL. *Geology...* Géologie et richesses minérales de la vallée de la James River (Va.), avec carte et coupes géologiques. New-York. In-8°, II-119 p. 6f,25.

SWINTON. *The principles...* Principes et pratique de l'éclairage électrique. New-York. In-12. 9f,40.

MERRIMAN. *A text-book...* Traité de la méthode des moindres carrés. New-York. In-8°, VIII-194 p. 12f,50.

WINCHELL. *Geological...* Excursions géologiques, ou rudiments de géologie pour les jeunes gens. Chicago. In-12, VI-234 p. 9f,40.

OUVRAGES ALLEMANDS.

Palæontologische Abhandlungen... Mémoires paléontologiques, publiés par *W. Dames* et *E. Kayser*. Berlin. In-4°. T. I, fasc. 3 et 4; 78 p. et 3 pl.; 54 p. et 14 pl. 26f,25. — T. II, fasc. 1, 77 p., avec 11 pl. 16f,25.

Die wissenschaftlichen... Les résultats scientifiques de l'expédition de *la Véga;* publiés par *A.-E. Nordenskiöld*. Édition allemande. Leipzig. In-8°. Livraisons 7 à 12 (tome I, XII p. et p. 385-730). Chaque livraison 2f,50.

v. ESCHERICH. *Ueber die Gemeinsamkeit...* Sur la communauté d'intégrales particulières entre deux équations différentielle linéaires. I et II. Vienne. In-4°, 24 p. 2f,75.

FRITSCH. *Fauna der Gaskohle...* Faune des charbons à gaz et des

calcaires de la formation permienne de Bohême. Prague. In-4°. Tome I, fasc. 4, p. 159-182, avec 12 chromolith. 40 fr.

Neues Handwörterbuch... Nouveau dictionnaire de chimie, composé et rédigé par *H. v. Fehling*, avec le concours de Baumann, Bunsen, Classen, etc. Brunswick. In-8°, Livraison 44 (t. IV, p. 337-432). 3 fr.

LIE. *Ueber unendliche*... Sur des groupes infinis continus. Christiania. In-8°, 56 p. 1f,90.

MARTINI und CHEMNITZ. *Systematisches Conchylien-Cabinet*... Collection systématique de coquilles. Publié et complété par *H.-C. Küster*, en collaboration avec Philippi, L. Pfeiffer, Dunker, etc., continué après sa mort, par *W. Kobelt* et *H.-C. Weinkauff*. Nüremberg. In-4°. Livraisons 323-326; 80 p., avec 17 pl. coloriées. Chaque livraison 11f,25. — Section 105; 64 p., avec 18 pl. 33f,75.

THOMSEN. *Thermochemische*... Recherches thermochimiques. Tome III. Dissolution aqueuse et formation d'hydrates. Métaux. Leipzig. In-8°, XVI-567 p., avec 6 pl. 18f,75.

FINGER. *Elemente*... Éléments de mécanique pure. Livraisons 1 et 2. Vienne. In-8°, VIII-256 p. Chaque livraison 4 fr.

FUHRMANN. *Analytische Geometrie*... Géométrie analytique des sections coniques. Berlin. In-8°, VII-144 p., avec 27 fig. 3 fr.

HANKEL. *Elektrische*... Recherches électriques. 17e mémoire. Leipzig. In-8°. 2f,25.

HOERNES und AUINGER. *Die Gasteropoden*... Les Gastéropodes des dépôts marins du 1er et du 3e étage méditerranéen miocène dans la monarchie austro-hongroise. 4e livraison. Vienne. In-fol., p. 153-192, avec 6 pl. 20 fr.

LAUBENHEIMER. *Grundzüge*... Principes de chimie organique. 4e livraison (fin). Heidelberg. In-8°, x p. et p. 673-876. 5 fr.

NEHRING. *Fossile Pferde*... Chevaux fossiles des dépôts diluviens d'Allemagne et leurs rapports avec les chevaux vivants. Berlin. In-8°, 82 p., avec 5 pl. 5 fr.

NEUMAYR. *Ueber climatische*... Sur les zones climatériques à l'époque jurassique et crétacée. Vienne. In-4°, 34 p., avec 1 carte. 4 fr.

PESCHKA. *Darstellende und projective*... Géométrie descriptive et projective d'après l'état actuel de cette science. Tome II. Vienne. In-8°, XVIII-576 p., avec 11 pl. 21f,25.

QUENSTEDT. *Die Ammoniten*... Les Ammonites du jurassique de la Souabe. Fasc. 2 et 3. Stuttgart. In-8°, p. 49-144, avec 12 pl. Chaque fascicule 12f,50.

Simony. *Ueber eine Reihe*... Sur une série de nouveaux principes mathématiques expérimentaux (suite et fin). Vienne. In-8°. 3f,25.

Teisseyre. *Ein Beitrag*... Contribution à la connaissance de la faune de céphalopodes de l'argile à *ornatus* du gouvernement de Rjäsan (Russie). Vienne. In-8°, 91 p., avec 8 pl. 4 fr.

Broszus. *Die Theorie*... La théorie des taches du soleil, d'après les dernières recherches scientifiques. Berlin. In-8°, VIII-104 p. 2f,50.

Lehmann. *Untersuchungen*... Recherches sur la constitution des roches schisteuses cristallines anciennes, avec considérations spéciales sur la formation granulitique de Saxe, sur l'Erzgebirge, le Fichtelgebirge et les confins de la Bavière et de la Bohême. Bonn. In-4°. XII-278 p. avec 5 pl. et un atlas de 28 pl. 75 fr.

Marcuse. *Ueber die physische*... Sur la constitution physique des comètes. Berlin. In-4°, V-75 p. 6f,25.

Spitzer. *Untersuchungen*... Recherches dans le domaine des équations différentielles linéaires. Vienne. In-8°, VI-60 p. 3f,75.

Mieg. *Theoretische*... Balistique théorique, avec méthode pour la détermination pratique des éléments de la trajectoire.

Woldrich. *Diluviale Fauna*... Faune diluvienne de Zuzlawitz près Winterberg dans le Böhmerwald. 3e partie (fin). Vienne. In-8°, 80 p., avec 3 pl. 2f,50.

Zuber. *Studja geologiczne*... Études géologiques dans les Carpathes orientaux. Fasc. 2. Lemberg. 34 p., avec 2 pl. 3f,75.

v. Ammon. *Ueber neue Exemplare*... Sur de nouveaux exemplaires de Méduses jurassiques. Munich. In-4°, 66 p., avec 5 pl. 5 fr.

Bittner. *Beiträge*... Contributions à la connaissance de faunes de brachyures tertiaires. Vienne. In-4°, 18 p., avec 2 pl. 2f,15.

Hoffmann. *Zur Mechanik*... Sur la mécanique des courants marins à la surface des océans; comparaison de la théorie avec l'expérience. Berlin. In-8°, VI-99 p. 3f,15.

Liznar. *Anleitung*... Guide pour la mesure et la détermination des éléments du magnétisme terrestre. Vienne. In-8°, 79 p., avec fig. 2f,50.

Neumann. *Vorlesungen*... Leçons sur les courants électriques, faites à l'Université de Königsberg; publiées par *K. Vondermühll*. Leipzig. In-8°, X-308 p., avec fig. 12 fr.

Pilar. Flora fossilis Susedana. Descriptio plantarum fossilium

quæ in lapicidinis ad Nedelja, sused, Dolje, etc., in vicinitate civitatis Zagrabiensis hucusque repertæ sunt. Agram. In-4°, VIII-163 p., av. 15 pl. 20 fr.

RAUSENBERGER. *Lehrbuch der Theorie...* Traité de la théorie des fonctions périodiques à une variable avec un nombre infini de points de discontinuité réels, avec une introduction à la théorie générale des fonctions. Leipzig. In-8°, VIII-476 p., 13f,50.

TIETZE. *Geologische Uebersicht...* Géologie générale du Monténégro; av. une carte géologique coloriée du Monténégro. Vienne. In-8°, 110 p. 6 fr.

TORNIER. *Der Kampf...* La lutte pour l'existence; contribution au darwinisme. Berlin. In-8°, XI-207 p. 5 fr.

UNSCHULD V. MELASFELD. *Terrainlehre...* Étude du terrain, une science spéciale, traitant de la formation des inégalités de la surface terrestre, comme introduction à la géologie. Vienne. In-8°, XIV-248 p., av. fig. 15 fr.

WENGHÖFFER. *Lehrbuch...* Traité de chimie pure inorganique et technique. 2e partie. Stuttgart. In-8°, VIII p. et p. 603-637 (fin). 6f,25.

ZITTEL. *Handbuch...* Manuel de paléontologie, publié avec le concours de A. Schenk. Münich. In-8°, tome II, livraison 3, p. 283-332, av. 62 fig. sur bois. 5 fr.

ARENDT. *Grundzüge...* Principes de chimie. Hambourg. In-8°, X-238 p. 2f,50.

HULLMANN. *Der Raum...* L'espace et son remplissage; mémoire pour l'étude de la lumière et de la chaleur. Berlin. In-8°, IV-60 p. 2f,50.

KRONECKER. *Ueber bilineare...* Sur des formes bilinéaires à quatre variables. Berlin. In-4°, 60 p. 3f,15.

LÖWL. *Ueber Thalbildung...* Sur la formation des vallées. Prague. In-8°, VI-136 p. 3f,75.

v. MILLER und KILIANI. *Kurzes Lehrbuch...* Petit traité de chimie analytique. Münich. In-8°, XI-553 p., av. 69 fig. et 1 pl. spectrale. 11f,25.

POSEWITZ. *Geologische Mittheilungen...* Communications géologiques sur Bornéo. Bude-Pesth. In-8°, 34 p. 1f,25. (Extr. des *Mittheil. aus d. Jahrb. d. k. ung. geolog. Anstalt.*).

PRIMICS. *Die geologischen Verhältnisse...* Constitution géologiques des Alpes de Fogarasch et de la région avoisinante de la Roumanie. Bude-Pesth. In-8°, 33 p., av. 1 carte géol. coloriée et 5 coupes. 2f,50.

BROBST. *Natürliche...* Chauffage naturel de l'eau, comme principe des conditions climatériques des formations géologiques. Francfort-sur-le-Mein. In-4°, 124 p. 6f,25.

ROSCOE und SCHORLEMMER. *Ausführliches Lehrbuch...* Traité détaillé de chimie. Tome III. Les hydrocarbures et leurs dérivés; 2e partie. Brunswick. In-8°, XI p. et p. 625-1179. 15 fr.

ROSENBERGER. *Die Geschichte...* Histoire de la physique, avec tableaux synchroniques des mathématiques, de la chimie et des sciences naturelles descriptives, ainsi que de l'histoire générale. 2e partie. Brunswick. In-8°, VII-406 p. 10 fr.

SCHELLBACH. *Ueber die Methoden...* Sur les méthodes de détermination de l'oxygène dans les composés nitrés. Berlin. In-4°, 26 p. 1f,25.

v. VEYDER MALBERG. *Ueber die Einheit...* Sur l'unité de la force. Vienne. In-8°, V-129 p. 6f,25.

VOLLER. *Ueber eine neue...* Sur une nouvelle forme de galvanomètre différentiel et sur la mesure directe de la résistance électrique des fils de charbons incandescents. Hambourg. In-4°, 12 p., av. 1 pl. 1f,90.

WEYRAUCH. *Theorie...* Théorie des corps élastiques; introduction à la physique mathématique et à la mécanique technique. Leipzig. In-8°, VIII-279 p., av. 42 fig. 9 fr.

Geodätische Arbeiten... Travaux géodésiques. Publication de la Commission Norvégienne de la mesure du degré Européen. Fascicules 1 à 3. Christiania. In-4°. 12f,50.

GRABBE. *Die Schaumburg-Lippe'sche...* Le bassin wealdien de Schaumburg-Lippe. Göttingen. In-8°, III-61 p. 2 fr.

HELLAND. *Studier over Islands...* Étude sur la pétrographie et la géologie de l'Islande. Christiania. In-8°, p. 69-154, avec 3 pl. 5f,65.

SÖFFING. *Krystallographische...* Étude cristallographique de quelques composés organiques. Göttingen. In-8°, 44 p., av. 1 pl. 1f,50.

WILDA. *Mechanik...* Mécanique. Cours II. Cinématique et dynamique des corps solides. Brünn. In-8°, 62 p., av. 72 fig. 2 fr.

ZINGEL. *Krystallographische...* Étude cristallographique de quelques composés organiques. Göttingen. In-8°, 45 p., av. 1 pl. 2 fr.

DÜRRE. *Die Anlage...* Établissement et exploitation des usines à fer. Leipzig. In-4°. Livraisons 17-19 (t. II, p. 97-200, av. 17 pl.) Chaque livraison 7f,50.

HAUPT. *Die Stollenanlagen...* Percement des galeries souterrai-

nes; guide pour les mineurs et les constructeurs de tunnels. Berlin. In-8°, XII-250 p., av. 185 fig. 10 fr.

v. KERPELY. *Die Anlage*... Établissement et conduite des usines à fer. 6ᵉ livraison. Leipzig. In-8°, p. 625-720, av. 19 pl. 23f,75.

MEISSNER. *Die Kraftübertragung*... Le transport de la force à grandes distances et la construction des machines et des régulateurs, pour les constructeurs, les fabricants et les industriels. Iéna. 6ᵉ livraison (t. I, p. 321-384, av. 6 pl.) 3f,75.

SCHWARTYE. *Die Motoren*... Les moteurs des machines électriques, avec considérations sur leur théorie, leur construction et leur emploi. Vienne. In-8°, XIV-312 p. 3f,75.

UHLAND. *Handbuch*.., Manuel du constructeur de machines. Leipzig. In-4°. Livraisons 35-37. Chaque livraison 3f,75.

FREIDBERG. *Die Verwerthung*... La transformation des os par voie chimique. Vienne. In-8°, IV-339 p. 5 fr.

POPPER. *Die physikalischen*... Les principes physiques du transport électrique de la force. Vienne. In-8°, 55 p., av. 1 fig. 1f,90.

BUSLEY. *Die Schiffsmachine*... La machine marine, sa construction, son mode d'action et son emploi. 3ᵉ partie. Kiel. In-8°. (T. II, p. 1-272, av. 50 pl.) 15 fr.

MAEY. *Betrachtungen*... Considérations sur les locomotives actuelles pour chemins de fer à voie normale. Wiesbaden. In-8°, VII-217 p. 5 fr.

SIMERKA. *Dampfkessel*... Chaudières et machines à vapeur, et les soins à leur donner. Pilsen. In-8°, IV-177 p., av. 72 fig. 2f,50.

KÖHLER. *Lehrbuch*... Traité de l'exploitation des mines. Leipzig. In-8°, XXII-708 p., av. 823 fig. et 6 pl. 20 fr.

SCHMID. *Hydrologische*... Recherches hydrologiques sur les cours d'eau publics du royaume de Bavière. 1ʳᵉ partie. Münich. In-4°, VI-20 p. et app. de 22 p., av. 12 pl. 25 fr.

BECK. *Die Geschichte*... Histoire du fer au point de vue technique et au point de vue de l'histoire de la civilisation. 1ʳᵉ partie. Brunswick. In-8°, X-1047 p., av. 315 fig. 37f,50.

JUNGCK. *Der Stahl-Prozess*... Le procédé de fabrication de l'acier au four Siemens-Martin. Gleiwitz. In-4°, 20 p. 3f,75.

LEDEBUR. *Handbuch*... Manuel de la sidérurgie. Leipzig. In-8°. 3ᵉ partie, XVI p. et p. 633-1012 (fin). 21f,25.

OUVRAGES ITALIENS.

CORSI. *Formulario*... Formulaire mathématique. 1ʳᵉ partie. 3ᵉ édition. Florence. In-16, VI-225 p. 2f,50.

DE BELLA. *La forza*... La force et la matière jugées d'après la chimie et la mécanique. Palmi. In-16, 18 p.

GORI. *Saggio*... Essai sur la géométrie prospective. Assise. In-8°, 25 p., av. 6 pl.

POGLIAGHI. *La trasmissione*... La transmission électrique de la force. Milan. In-8°, 213 p. 6 fr. (Extr. de la *Biblioteca scientif. internazionale*).

FILETI. *Tavole*... Tables d'analyse chimique qualitative. 3e édition. Turin. In-8°, 34 p., av. 15 pl. doubles. 3 fr.

MANTOVANI. *Descrizione geologica*... Description géologique de la campagne romaine avec une carte en chromolithographie et 7 coupes. 2e édition. Turin. In-8°, 115 p. 3 fr.

ASCHIERI. *Geometria*... Géométrie projective et descriptive. Milan. 2 vol. in-8°. T. I, VIII-355 p., av. 93 fig. 7f,50.—T. II, x-354 p. av. 128 fig. 8f,50.

BERTACCHI. *Meteore*... Météores lumineux : l'arc-en-ciel; le mirage; mémoires de physique mathématique. Turin. In-8°, XXXI-68 p., av. pl.

BELLARDI. *I molluschi*... Les mollusques des terrains tertiaires du Piémont et de la Ligurie. 3e partie : Gastéropodes. Turin. In-4°, 253 p., av. pl. (Extr. des *Mem. della R. Accad. di scienze di Torino*).

FAVERO. *La formazione*... La formation des terrains quaternaires des environs de Bassano, dans ses rapports avec les phénomènes généraux de l'époque glaciaire. Bassano. In-8°, 20 p.

FOGLINI. *Matematica*... Mathématiques élémentaires. T. III : calcul différentiel et intégral. Rome. In-8°, 688 p.

GATTA. *Sismologia*... Sismologie. Milan. In-16, 175 p. 1f,50.

PANCRAZI. *Elementi*... Éléments de technologie mécanique relatifs à l'élaboration des bois de charpente. Fascic. 1. Potenza. In-16, 16 p.

ZOPPETTI. *Arte siderurgica*... L'art de la sidérurgie, notions sur la production de la fonte, du fer et de l'acier. Milan. In-8°, 2 vol. 25 fr.

BOMBINI. *Nuovi studii*... Nouvelles études sur la polygenèse des minéraux et spécialement sur l'isomorphisme. Bologne.

BONARIVA. *Le perforazioni*... Les forages artésiens pour la recherche des eaux jaillissantes, leur utilité et leurs applications dans les arts et l'industrie. 2e édition. Bologne. In-4°, 71 p., avec pl. 5 fr.

FACCIOLI. *Il monopolio*... Le monopole des machines à gaz; considérations sur le brevet Otto. Milan. In-8°, 67 p. 1f,50.

Ferrini. *I recenti*... Les progrès récents des applications électriques. Milan. In-8°, xvi-748 p., avec 37 fig. et un catalogue de

—— *Illuminazione*... L'éclairage électrique. Milan. In-8°, 68 p. 1f,50.

20 p. des ouvrages relatifs à l'électricité. 22 fr.

Laureati. *Elementi*... Éléments de calcul infinitésimal. Rome. In-8°, 404 p. 7 fr.

Baretti. *Sunto*.,. Résumé de ses leçons de géologie, par le Dr *F. Virgilio*. Turin. In-8°, iv-540 p. 10 fr.

Fruscione. *La teoria*... La théorie dynamique de la chaleur; études. Padoue. In-8°, 123 p.

Egidi. *Trattato*... Traité élémentaire des déterminants, et leurs applications; extrait des ouvrages des plus célèbres analystes modernes. Rome. In-8°, 196 p. 4 fr.

Luvini. *Compendio*... Abrégé de géométrie plane et dans l'espace, et de trigonométrie rectiligne et sphérique. 8e édition. Turin. In-16, 152 p. 3f,60.

Toxiri. *Miniere*... Mines, médailles et monnaies de la Sardaigne notes chronologiques. Ancône. In-8°, 59 p. 3 fr.

Istruzioni pel trasporto... Instructions pour le transport des poudres, de la dynamite et autres explosifs, pour le service militaire. Rome. In-8°, 44 p.

Marchese. *Determinazione*... Détermination pratique de la résistance métallique et de la réaction chimique d'un circuit électrolytique. Gênes. In-8°, 15 p.

Pavesi. *Guida allo studio*... Guide pour l'étude de l'analyse chimique qualitative. 3e édition. Milan. In-16, viii-175 p. 2f,50.

Relazione al ministro... Rapport au ministre des travaux publics sur les travaux des diverses Commissions instituées en 1883 pour obtenir l'amélioration des services techniques des chemins de fer italiens. Rome. In-4°, 105 p.

Mocenigo. *L'isola*... L'île de Java et les crépuscules de novembre et décembre 1883. Vicence. In-16, 22 p.

Cerebotani. *Conferenza*... Conférence sur le télétopomètre de son invention pour la mesure instantanée des distances. Vérone. 0f,50.

Apolloni. *Metodo pratico*... Méthode pratique pour construire le profil de distribution dans le calcul graphique des mouvements de terre. Padoue. In-16, 14 p.

Novi. *Gl' idrocarburi*... Les hydrocarbures liquides et solides : utilité d'en exploiter les gisements dans les provinces d'Italie où l'émigration est la plus active. Naples. In-4°, 80 p. 5 fr.

Capellini. *Il Chelonio*... Le Chélonien véronais (*Protosphargis veronensis* Cap.), découvert en 1852 dans le crétacé supérieur près Sant' Anna di Alfredo dans la Volpicella. Rome.

De Vincenzi. *Della coltivazione*... De la culture hydraulique des terres substituée à la culture à vapeur. Rome. In-8°, 32 p.

Lodrini. *Le tariffe*... Les tarifs des chemins de fer; essais. Brescia. In-4°, 124 p. 5 fr.

Pagano. *La miniera*... La mine de soufre « Lucia » et sa transformation. Palerme.

ANNALES

DES MINES

MÉMOIRE

SUR LE

BASSIN HOUILLER DU LANCASHIRE

Par M. M. LUUYT, Ingénieur des mines.

AVERTISSEMENT.

Pendant mon voyage de mission en Angleterre, j'ai séjourné quelque temps dans le Lancashire où je me proposais d'étudier la géologie du bassin houiller et l'exploitation des mines. Ce mémoire contient le compte rendu des visites que j'ai faites d'après les indications, et parfois en compagnie de MM. Hedley et Martin, inspecteurs-assistants des deux districts administratifs du Lancashire. Les houillères que j'ai visitées présentent les dispositifs les plus remarquables d'installation au jour, et, je crois, tous les types de méthodes d'exploitation usités dans le bassin.

Voici les noms de ces charbonnages :

Bamfurlong Collieries (*) (Cross, Tetley and C°), à Bamfurlong, près Wigan.

(*) Colliery (pluriel Collieries), signifie charbonnage.

Bickerskaw Colliery (Acker, Whitley and C°), à Leigh, près Wigan.
Abram Colliery (Abram Coal C°), à Bickershaw, près Wigan.
Abram Arley Colliery (Abram Coal C°), à Bickershaw, près Wigan.
Rosebridge Colliery (Rosebridge and Douglas Bank Collieries C°), à Ince, près Wigan.
Pemberton Colliery (Blundell and Sons), à Orrell, près Wigan.
Westleigh Colliery (Wigan Coal and Iron C°), à Westleigh.
Priestner Colliery (Wigan Coal and Iron C°), à Westleigh.
Outwood Colliery (Fletcher, Thomas and Sons), à Ringley Road, près Bolton.
Clifton Hall Colliery (Knowles, Andrews and Sons), à Clifton, près Manchester.

J'ai pu en outre me procurer sur place des renseignements particuliers sur d'autres charbonnages, et des renseignements généraux sur tout le bassin. Enfin je les ai complétés par des informations puisées aux sources suivantes.

Pour la géologie :

The Coal Fields of Great Britain, par E. Hull, 1881.
Transactions of the Manchester Geological Society.
Mémoires du Geological Survey, pays autour de Bolton.
Id. Id. pays autour de Wigan.
Geological Magazine.

Pour l'exploitation des mines :

Reports of the Inspectors of Mines, 1882.
Rapport de mission de MM. Pernolet et Aguillon, 1881.
Revue des récents progrès de l'exploitation des mines, par M. Haton de la Goupillère, *Annales des Mines*, 1879.
Voyage d'étude dans les bassins houillers de l'Angleterre, par Fabian, *Journal de Karnall*, de Berlin, 1882.

Je suis heureux d'adresser en terminant de vifs remerciments à MM. Hedley et Martin, inspecteurs des mines, ainsi qu'à MM. Bryham, directeur de Rosebridge; Greener, directeur de Pemberton Colliery; Hewlett, directeur de la « Wigan Coal and Iron C° », qui m'ont accueilli avec beaucoup de bienveillance et m'ont donné toutes facilités pour la visite de leurs exploitations.

PREMIÈRE PARTIE.

GÉOLOGIE.

I.

LIMITES DU BASSIN.

Le bassin houiller du Lancashire n'est pas encore parfaitement délimité, car, si on le voit au nord et à l'est reposer sur le « Millstone grit », qui en forme comme la cuvette, il disparaît au sud et à l'ouest sous les terrains permiens et triasiques. Cette disparition est due soit au pendage naturel des couches, soit aux failles qui ont amené le terrain houiller en contact avec les terrains plus récents et qui en forment ainsi la limite visible. Si l'on ne considère que la portion exploitée, le bassin du Lancashire est limité par une ligne assez accidentée, que j'indique à grands traits. A l'est, la chaîne pennine (Pennin Mountain) le sépare du Yorkshire ; il est borné au nord par la vallée de la Ribble, à l'ouest par une ligne allant de Preston à Liverpool par Ormskirk et Prescott, au sud par une ligne brisée à peu près parallèle à la Mersey, allant de Liverpool à Manchester. De plus, le bassin envoie au S.-E. une longue bande qui s'étend jusqu'à Macclesfield ; c'est le seul lambeau visible du prolongement méridional. Cette portion est située dans le comté de Cheshire (Pl. I, *fig.* 1).

Vers le centre du district ainsi délimité est une région stérile. Le fond du bassin a été soulevé, et le Millstone grit, qui le constitue, affleure sur une vaste surface limitée par des failles. Ainsi se trouve isolée presque com-

plètement la portion N.-E. du bassin, formant le district de Burnley et de Blackburn. En faisant abstraction de ce petit bassin, ainsi que de celui du Cheshire, il reste une bande constituant le bassin du Sud-Lancashire proprement dit, longue de 50 kilomètres environ, entre Ormskirk et Rochdale, ou entre Prescott et Oldham, large de 10 kilomètres en moyenne, du nord au sud. C'est sur cette région, la mieux exploitée et la mieux connue que j'insisterai surtout.

II.

CONSTITUTION GÉNÉRALE DU BASSIN.

Sur le continent, les bassins houillers, généralement isolés les uns des autres, sont loin d'avoir le même âge et la même constitution, et il faut avoir recours aux caractères paléontologiques pour établir la correspondance des étages. Dans la Grande-Bretagne, au contraire, les bassins houillers présentent en gros la même structure et la composition des étages varie peu d'une région à l'autre. Ceci ne signifie pas que les couches exploitées aient partout le même âge : tel ou tel étage du terrain houiller ne sera pas exploité partout avec avantage. En Écosse, par exemple, l'étage moyen, si rémunérateur dans la plupart des bassins anglais, est stérile, et on n'exploite que l'étage inférieur. La puissance des couches de charbon, de schiste, de grès, n'est pas partout la même; elle varie d'un bassin à l'autre, d'un point à l'autre du même bassin. Des étages peuvent même manquer, s'ils ont été enlevés par des dénudations postérieures. Mais ces restrictions n'infirment en rien l'assertion émise plus haut.

Voici donc, en Angleterre, la succession des étages depuis le terrain anthracifère jusqu'au trias. Je crois

utile de la rappeler ici, parce qu'elle s'applique au Lancashire en particulier, et qu'il convient de préciser la signification de certains termes anglais qu'on ne peut guère remplacer par des équivalents français.

A la base est un calcaire pétri de fossiles marins et appelé calcaire carbonifère ou Mountain Limestone. Ce calcaire, dont la puissance atteint jusqu'à 1.500 mètres, est souvent constitué exclusivement par des débris de crinoïdes et des coraux. Son épaisseur diminue à mesure que l'on s'élève vers le nord ; en même temps il s'y intercale des lits de schiste argileux, de grès plus ou moins calcaire, et quelques couches de charbon qu'on exploite dans le Northumberland et surtout en Écosse. Là le calcaire a presque complètement disparu de l'étage.

Au-dessus vient une série de grès durs, grossiers et compactes avec bancs de schiste intercalés, formant le Millstone grit (pierre à meules), ainsi nommé de l'usage auquel on emploie ce grès, ou Farewell Rock (Roc d'adieu) parce qu'on a cru longtemps qu'il n'y avait pas de couches de houille sous-jacentes. La série dite Yoredale Rocks est une zone de passage entre le calcaire carbonifère et le Millstone grit.

Ce dernier étage renferme des couches de houille dont plusieurs sont exploitées dans le Lancashire, et le Yorkshire : elles atteignent leur plus grand développement dans le bassin du Nord et en Écosse.

Au-dessus vient le terrain houiller proprement dit ou Coal Measures, qu'on divise ordinairement en trois étages productifs, inférieur, moyen, supérieur, séparés par des bancs stériles d'épaisseur variable. L'étage inférieur con tient des couches de charbon généralement minces : on l'appelle « Lower Coal Measures » ou « Gannister beds » (couches à gannister). Le « gannister » est une argile réfractaire dure et siliceuse, contenant en abondance des *Stigmaria* et un fossile caractéristique l'*Aviculopecten*

papyraceus. Cette argile est utilisée pour faire les revêtements intérieurs des convertisseurs Bessemer. L'étage moyen ou « Middle Coal Measures » est celui qui fournit les couches de charbon les plus nombreuses et les plus puissantes.

Enfin l'étage supérieur « Upper Coal Measures » présente encore des couches minces, et souvent des lits calcaires; il manque d'ailleurs fréquemment.

Les « Coal Measures » sont recouvertes par le permien et le trias dont je ne parlerai en détail que plus tard.

III.

HYPOTHÈSE SUR LA FORMATION DU BASSIN.

La conclusion à tirer de cette constance de composition, c'est que, à l'époque houillère, une grande partie de la surface de la Grande-Bretagne était occupée par une vaste mer où se sont déposées les couches de combustible, sans rien préjuger d'ailleurs sur leur mode de formation. Assurément les variations signalées plus haut ne sont pas plus sensibles que celles qu'on observe en France dans la composition et dans la puissance des assises secondaires du bassin parisien.

On voit (Pl. I, *fig*. 2), d'après M. E. Hull, l'emplacement des formations houillères avant l'érosion. La surface houillère était divisée en deux bandes au nord et au sud, séparées par une zone de terrain ancien.

Ainsi, il ne semble pas que la houille se soit déposée à l'origine dans des bassins séparés. La forme concave des bassins actuels paraît être le résultat de mouvements terrestres postérieurs au dépôt, mouvements qui se sont accomplis suivant deux systèmes perpendiculaires, et qui ont été suivis de dénudations. Ces mouvements sont

survenus, d'après Hull, les uns pendant la période houillère, avant le dépôt du permien, les autres antérieurement au trias. Les premiers semblent avoir été déterminés par des pressions dirigées du nord au sud, qui ont eu pour effet de rider les couches de l'est à l'ouest : les sommets de ces rides (axes anticlinaux) ont été rasés et les terrains stériles (Millstone grit, Yoredale Rocks), mis à nu, ont formé la séparation des bassins houillers. C'est ainsi que ceux du Lancashire et du Yorkshire sont séparés de ceux du Cumberland et du Durham. Il est probable qu'une ligne anticlinale parallèle à celles-ci, et suivant à peu près le cours de la Mersey, limite au sud le bassin du Lancashire. Plus au sud une autre ride du même système forme la terminaison au nord du bassin de Cardiff : elle a sans doute affecté aussi la Belgique, le nord de la France et la Westphalie.

A cette époque a eu lieu le dépôt des grès permiens qui s'est effectué sur le terrain houiller, là où il s'était conservé comme dans le Sud-Lancashire, ou sur des formations plus anciennes, calcaire carbonifère ou Millstone grit, là où elles avaient été mises à nu comme dans le Nord-Lancashire, et le Yorkshire.

Le second système de rides, perpendiculaire au premier semble avoir suivi de près ce dépôt. Le soulèvement de la chaîne pennine qui sépare le Lancashire du Yorkshire paraît également contemporain de ces phénomènes. De même le Durham a été séparé du Cumberland, le Derbyshire du Cheshire, etc. L'intersection des axes synclinaux a produit les bassins actuels.

On peut conclure de là quel sera le pendage général des couches dans le bassin du Lancashire. La limite nord du bassin étant voisine d'une ride transversale, les couches plongeront au sud dans cette région. Par suite des soulèvements rangés dans le second système, les bords oriental et occidental du bassin s'appuient sur des

rides dirigées du nord au sud; les pendages respectifs des couches aux affleurements marginaux, seront donc vers l'ouest et vers l'est. C'est ce qu'il est facile de vérifier en jetant les yeux sur une carte.

La partie sud du bassin est cachée sous les terrains plus récents, mais, selon toute probabilité les couches atteignent leur point le plus bas à peu près sous la Mersey, et se relèvent à partir de là, mais elles n'arrivent pas assez près de la surface pour avoir été atteintes par des sondages.

Telle est, vue d'ensemble, la forme de ce bassin houiller qui a été bouleversé dans la suite par des accidents de toute nature dont je vais signaler les plus importants avant d'étudier en détail la succession des couches.

IV.

SYSTÈMES DE FAILLES.

La direction dominante des failles très nombreuses qui ont affecté le bassin du Lancashire est le N.-N.-O. S.-S.-E. Elles ont un pendage moyen de 60° à 70°, et ont occasionné des rejets dépassant souvent 3 à 400 mètres.

La plus importante dans l'ouest du bassin est la faille Up-Holland, dont le rejet est de 600 mètres, et qui a soulevé entre Wigan et Ormskirk une large bande de Millstone grit.

Dans le district de Wigan, il y a une multitude de failles parallèles, qui ont eu pour effet de découper le terrain houiller en bandes étroites appelées « belts, » et de former ainsi aux exploitations des limites naturelles assez heureuses.

Les plus importantes sont la « Cannel fault » qui passe sous la ville de Wigan, et la grande faille d'Haigh qui se prolonge au sud presque dans le Cheshire.

Dans le district de Manchester, la faille très nette de la vallée de l'Irwell a produit un rejet de 1.000 mètres, qui met le terrain houiller en contact, à Pendlebury avec le trias, et au nord de Bolton, avec le Millstone grit (Pl. I, *fig.* 3).

Enfin le bassin est limité à l'est par de grandes failles contemporaines du soulèvement de la chaîne pennine dont les crêtes, autrefois formées de terrain houiller, ont été rasées.

Un second système de failles, moins important, est dirigé de l'est à l'ouest. Ces failles sont bien marquées dans la région centrale où elles occupent une bande le long du chemin de fer de North-Western (grande ligne). Mais les plus intéressantes sont celles du district de Worsley, dont les rejets ont de 50 à 250 mètres.

L'existence de ces failles rend souvent assez difficile à *établir* la correspondance des couches dans les divers districts : on ne peut y arriver qu'en comparant les coupes fournies en abondance par les exploitations. Mais il reste encore bien des points douteux à cause des variations que les couches éprouvent, dans leur qualité, dans leur puissance, et dans l'épaisseur des bancs stériles qui les séparent.

V.

ÉTUDE DES ÉTAGES.

Voici le tableau de la succession des étages avec leur puissance dans le Lancashire :

			mètres.
Trias.....	Keuper....	Marnes irisées.......	1.000
		Grès............	150
	Grès bigarré.	Grès avec conglomérat. .	300
		Grès inférieur (souvent absent)..........	50
		A reporter.....	1.500

		mètres
	Report.	1.500
Permien. . .	Marnes et calcaires rouges.	80
	Grès rouge.	150
Houiller. . .	Upper Coal Measures. (Argiles, grès et calcaire d'Ardwick, près Manchester, avec quelques couches minces de charbon et lits de minerai de fer.).	400
	Middle Coal Measures. (Grès, schistes avec ccouhes de charbon nombreuses et puissantes.)	1.000
	Lower Coal Measures. (Schistes, argiles avec minces couches de houille ou Gannister beds.).	600
Anthracifère.	Millstone grit avec quelques couches minces.	1.000
	Yoredale Rocks.	1.000
	Calcaire carbonifère.	1.000
	Total.	6.730

On voit que, conformément à la classification anglaise, les couches de houille ont été réparties en trois séries fort inégalement représentées.

Je ne reviendrai pas sur le calcaire carbonifère, ni sur les « Yoredale rocks » dont j'ai parlé plus haut, et je passe immédiatement au Millstone grit qui forme la ceinture du bassin au nord et à l'est.

Millstone grit. — Le Millstone grit est connu dans le Lancashire sous le nom de Roc Rude ; c'est en effet un grès grossier et compact, renfermant souvent des grains de feldspath et de mica qui dénotent son origine granitique. Il paraît s'être déposé dans une eau agitée par des courants venant de l'est. Il renferme en abondance des fragments de troncs d'arbre, des sigillaires, ordinairement déformées par la compression. Dans cet étage se trouve une couche de houille de $0^{m},75$ environ, qu'on voit affleurer à Hill top, près de Bury.

Lower Coal-Measures. — La série inférieure « Lower Coal-Measures » ou « Gannister beds » repose directement sur le Millstone grit. L'horizon le mieux caractérisé de cet étage est une pierre presque aussi dure que le silex et très bien connue sous le nom de *gannister rock*. Elle forme le mur d'une couche de charbon qui se retrouve dans diverses localités avec différents noms, et que je désignerai avec M. Hull sous le nom de Gannister Coal, qui suffit à en fixer la position.

La formation houillère inférieure a une puissance totale (maximum) de 50 mètres : elle s'étend au-dessous de la couche Gannister Coal sur une épaisseur de 300 mètres jusqu'au Millstone grit, et se termine au-dessus, à 280 mètres de la même couche à l'étage moyen. La base de cet étage a été fixée arbitrairement à la couche dite Arley Mine qui est parfaitement connue dans tout le Lancashire.

L'étage inférieur contient quatre couches exploitables d'une puissance totale de 2 mètres. Voici d'ailleurs la succession des couches à Ashton, obtenue en rapprochant les sections faites à Mossley, près Ashton, et à Hartshead. La partie supérieure n'est pas complète : il y manque les pierres à dalles qu'on trouve au nord du bassin, et quelques couches minces exploitées à Oldham. Les dénudations ont enlevé ces assises sur une épaisseur de 250 mètres environ.

	mèt. c.
Charbon « Forty yards Mine »	1,35
Banc stériles	31,00
Charbon « Upper foot Mine »	0,30
Bancs stériles	14,00
Charbon « Gannister Coal » ou « Three Quarters »	0,55
Bancs stériles	9,00
Charbon « Lower foot Mine »	0,15
Bancs stériles	82,00
A reporter	138,35

	mèt. c.
Report.	138,35
Charbon « Sand Rock ».	0,15
Bancs stériles	166,00
Charbon.	0,35
Argile, schiste et grès.	28,20
Charbon « Victoria »	0,55
Charbon impur.	0,20
Argile.	0,05
Grès et schiste.	12,00
Charbon.	0,15
Total.	346,00

Les charbons de cet étage conviennent particulièrement à la fabrication du coke. Le mur est généralement formé d'une terre assez peu consistante avec *Stigmaria ficoïdes*; elle est utilisée pour faire des produits réfractaires. Les bancs intermédiaires sont constitués par des schistes et des argiles de diverses sortes; ils renferment quelquefois des fossiles marins dont quelques-uns se trouvent aussi dans le calcaire carbonifère. La couche « upper foot Mine » est accompagnée souvent de nodules et de fossiles dont les principaux sont des *Goniatites* et des *Aviculopecten*.

A Rochdale, et jusqu'à Bacup, l'ordre de succession des couches est le même qu'à Ashton, et, en dépit des changements de noms, il est facile d'en rétablir la correspondance. Elles ne sont bien développées qu'à Ashton, et au sud, dans le Cheshire. La couche la plus importante est la « Victoria Mine », exploitée à Victoria Colliery près de Mossley. Au-dessus viennent quelques couches très minces et généralement peu exploitables, puis la couche Gannister Coal qui forme un excellent repère, enfin « Upper foot Mine » et « Forty yards Mine. »

La portion qui s'étend au sud-est du bassin dans le Cheshire est limitée à l'ouest par une large faille dite « Red rock fault » qui met en contact à l'est le trias avec

le houiller : les couches exploitées sauf « Arley Mine », qui appartient aux Middle Coal Measures sont les mêmes que plus haut, avec des noms différents.

Mais, au delà de Bacup, dans la direction du nord, on entre dans une région séparée de Bacup par une faille, et dans laquelle les couches ont été bouleversées. La plus importante est connue sous le nom de « Cliviger Coal » ou de « Mountain Coal, » mais bien que cette dernière appellation s'applique dans les environs d'Oldham à la couche « Gannister Coal, » il est possible que le « Cliviger Coal » soit la « Upper foot Mine, » dont la puissance serait plus grande qu'à Ashton. La présence de nodules, de fossiles et en particulier de superbes échantillons de goniatites semble être un argument en faveur de cette opinion.

Continuant à faire le tour du bassin, en laissant de côté pour le moment le district de Burnley, on observe quelques modifications des couches aux environs de Bury. Le « Gannister Coal » s'amincit considérablement, tandis que la couche Sand Rock jusqu'ici sans valeur, commence à être activement exploitée. A Oven Darwen, le « Gannister Coal » est de nouveau exploité, mais les couches supérieures sont presque épuisées. A 10 mètres au-dessus du « Gannister Coal » sont deux petites veines qui se rapprochent graduellement à mesure qu'on marche vers l'ouest et arrivent à n'être séparées que par un banc d'argile noire, en sorte qu'on peut les exploiter comme une seule couche. Leur ensemble correspond d'ailleurs à la couche « Forty yards » d'Ashton. Enfin en s'avançant encore à l'ouest, on ne rencontre plus que les trois couches supérieures Forty yards, Upper foot, et Gannister Coal. Au centre du bassin, à Wigan, l'épaisseur totale des Lower Coal Measures diminue d'une centaine de mètres : elles ne sont pas d'ailleurs exploitées.

Middle coal measures. — Les caractères lithologiques et paléontologiques de l'étage moyen diffèrent notablement, pour un œil exercé, de ceux de la série inférieure. La discordance de stratification entre les deux n'est pas mise encore hors de doute ; mais certaines sections présentées par des carrières semblent montrer que les assises inférieures ont été soulevées et en partie rasées avant le dépôt des assises moyennes. Quoiqu'il en soit, et sans m'arrêter aux caractères paléontologiques dont l'énumération serait trop longue, je dirai seulement que les bancs de grès et de schiste de l'étage inférieur sont généralement plus réguliers ; ils ont une structure tabulaire et se séparent en dalles, ce qui tient non seulement à leur formation dans un milieu plus tranquille, mais encore à la proportion élevée de mica qu'ils contiennent.

Les « Middle Coal Measures » sont surtout développées dans le Lancashire méridional, dont les trois principaux districts sont ceux de Wigan, Saint-Helens et Manchester. Les accidents ultérieurs ont quelque peu modifié la régularité du dépôt, et l'épaisseur des étages varie un peu d'un point à l'autre : d'une manière générale, on peut dire qu'elle diminue en suivant la direction du principal système de failles, du S.-S.-E. au N.-N.-O.

Voici les coupes de chacun des trois districts, dans lesquelles j'ai numéroté certaines couches de houille de bas en haut, à partir de « Arley Mine », celles dont la correspondance est établie étant affectées du même numéro.

Section des Middle Coal Measures, à Wigan.

		mèt. c.
16.	Four feet Coal, de la série « Red Rock Bridge ». . . .	1,20
	Strates.	180,00
15.	Charbon « Ince Yard ».	0,90
	Strates avec minerai de fer.	45,00
14.	Charbon « Ince four feet ».	1,10
	Strates.	25,00

	mèt. c.
13. Charbon « Ince seven feet »	2,10
Strates	21,00
12. Charbon « Furnace Mine »	1,40
Strates	77,00
11. Charbon « Pemberton five feet »	1,55
Strates avec un banc de charbon de 0m,60	23,00
10. Charbon « Pemberton four feet »	1,35
Strates	136,00
9. Charbon « Wigan five feet »	1,35
Strates	19,00
8. Charbon « Wigan four feet » avec Cannel	1,20
7. Strates avec couche inexploitable « Wigan nine feet »	113,00
6. Charbon « Cannel Mine »	0,60
Strates	1,00
5. Couche « King's Coal »	1,15
Strates	73,00
4. Charbon « Yard Mine »	0,90
Strates	45,00
3. Charbon « Bone Coal »	0,70
Strates	3,00
2. Charbon « Smith Coal » ou « Rushy Park »	1,00
Strates	55,00
1. Charbon « Arley Mine »	1,20

J'ai compris sous la dénomination de strates l'ensemble des lits de schistes, grès, argile, qui séparent deux couches de charbon, et dont la constitution est assez complexe et variable. J'ai jugé que s'il était fastidieux d'en donner le détail pour les trois districts, il serait utile néanmoins d'en donner un exemple.

Le forage du puits « *Ince Deep Pit* », à « *Rosebridge Colliery* » a traversé les « *Middle Coal Measures* » sur une épaisseur de 746 mètres. J'ai relevé sur la section qui m'en a été communiquée par les ingénieurs de la mine 269 couches pouvant se répartir ainsi :

NATURE DES COUCHES.	NOMBRE.	PUISSANCE totale.	ÉPAISSEUR maximum.	ÉPAISSEUR minimum.
Alluvions.	1	8,23	»	»
Schiste.	149	466.23	15,11	0,15
Argile.	36	95,78	10,06	0,30
Grès et roches dures.	41	143,81	15,21	0,36
Charbon et Cannel Coal.	42	32,65	1,86	0,05
	269	746,70	»	»

A titre de renseignement complémentaire, et pour ne pas avoir à y revenir, voici la température observée aux diverses profondeurs. Le thermomètre était enfoncé dans un trou, pratiqué dans le rocher, profond de 1 mètre : il y restait au moins 30 minutes.

Profondeurs.	Températures observées.
510 mètres.	25°,5
576	28 ,3
606	29 ,4
614	30
620	30 ,5
671	31 ,4
680	31 ,6
695	32 ,5
708	33 ,3
716	33 ,9
731	34 ,1
737	34 ,5

On voit que l'accroissement de température, suivant une loi physique déjà établie, est de 1 degré pour 31 mètres environ.

Voici maintenant la section résumée à Saint-Helens :

	mèt. c.
« *Upper Coal Measures* », stériles.	196,00
Charbon impur « *Lyons Delf Coal* ».	0,80
Strates.	5,40
Charbon « *London Delf Coal* ».	0,75

	mèt. c.
Strates.	9,05
Charbon « *Potato Delf* »	1,50
Strates.	13,00
Charbon « Earthy Delf », inexploitable.	1,40
Strates.	85,00
Charbon « St-Helens Main Coal ».	3,00
Strates.	9,60
Charbon « Four feet Coal »	1,00
Strates.	6,00
Charbon « Cannel ».	0,45
Strates.	83,50
Charbon.	1,15
Strates.	1,25
Charbon « Ravenhead Main Coal ».	2,10
Strates.	27,70
Charbon « Bastion Mine ».	1,40
Strates.	4,00
7. Charbon « Higher Roger Coal »	1,20
Strates.	55,50
5, 6. Charbon « Flaggy Delf »	1,20
3, 4. Strates avec « Lower Roger Coal »	137,40
2. Charbon « Rushy Park ».	1,35
Strates.	48,60
1. Charbon « Little Delf » ou « Arley Mine »	1,00

La corespondance n'est ici absolument certaine que pour les couches (1) et (2). Dans le district de Manchester, au contraire, elle est établie pour toute la série.

Voici le tableau résumé de la section :

Section des Middle Coal Measures, à Manchester.

Les noms entre guillemets sont ceux des couches à Kearsley, près Bolton.

	mèt. c.
Terrain houiller supérieur contenant 17 couches trop minces pour être exploitées.	385,00
16. Charbon « Worsley 4 feet ».	1,30
Strates avec 25 couches minces.	268,00
15. Charbon « Bin Coal ».	1,00
Strates.	24,00
Charbon « Albert Mine »	1,00
Strates.	13,00

		mèt. c.
14.	Charbon « Crumbouke 4 feet » (Thin Mine).	1,20
	Strates	44,00
13.	Rams Mine (Rams 7 feet)	1,65
	Strates avec 2 couches minces (11, 12)	77,00
10.	Charbon « White Coal »	1,00
	Nerf schisteux	2,00
	Charbon « Black Coal »	1,00
	Strates	13,00
9.	Charbon « Doe Mine » (Old Doe)	2,50
	Strates	9,60
8.	Charbon « Five Quarters »	1,10
7.	Charbon « Trencherbone »	1,50
	Strates	31,00
6.	Charbon « Cannel Mine »	1,35
	Strates	18,00
5.	Charbon « Saplin Coal »	1,20
	Strates avec « Plodder Coal »	70,00
4.	Charbon « Yard Mine »	0,90
3.	Bancs avec couches minces (Half Yard)	50,00
2.	Charbon « Three Quarters Mine »	0,60
	Strates	63,00
1.	« Arley Mine »	1,20

Les Middle Coal Measures atteignent leur maximum de puissance, soit 900 mètres environ, à Saint-Helens. Le nombre des couches exploitables est considérable et elles sont souvent assez épaisses. Quelques-unes fournissent du Cannel Coal et sont recherchées avec soin; malheureusement, la couche qui en donne le plus s'amincit dans toutes les directions autour de Wigan.

A la base de l'étage est la couche dite « Arley Mine » qui forme un excellent repère dans tout le bassin. Elle n'est pas aussi épaisse à Saint-Helens ou à Bolton qu'à Wigan, et, à son affleurement septentrional, elle n'a plus que 80 centimètres en deux bancs séparés par 30 centimètres de schiste; mais la présence d'un lit de 10 centimètres de Cannel Coal en rend l'exploitation rémunératrice. Dans le district de Wigan, elle donne

un charbon de qualité supérieure, et qui, pour la fabrication du gaz et du coke, n'est dépassé que par le Cannel. Dans le district de Saint-Helens, le charbon semble avoir subi une détérioration, et la meilleure qualité vient de la couche « Smith Coal » ou « Rushy Park », qui est à 60 mètres au-dessus. Cette couche n'est pas exploitable au delà de la faille de la vallée de l'Irwell, non plus que la couche supérieure « Bone Coal ». On suppose qu'elle correspond au « Lower Roger Coal » de Saint-Helens.

La couche « Yard Mine » conserve son nom de Wigan à la vallée de l'Irwell; du côté de Manchester, sa puissance est réduite à 75 centimètres. Son toit est formé de schiste argileux avec fougères fossiles et *Anthracosia*. Elle donne un charbon qui convient bien pour la fabrication du coke.

Les couches « *King Coal* » et « *Cannel Coal* » sont presque toujours associées. La première, de qualité variable, donne un charbon à fracture nettement cubique, et à joints remplis d'une matière siliceuse, convenant surtout pour les usages domestiques. La seconde couche, la plus remarquable, donne à Wigan 90 centimètres de Cannel Coal; mais cette épaisseur diminue rapidement quand on s'en éloigne. A Hulton, elle est de 50 centimètres seulement; à Worsley, elle est presque nulle. Le toit de la couche est formé d'une argile schisteuse noire avec restes de poissons. Le Cannel Coal est un charbon noir, compacte, bitumineux, à cassure conchoïde, et sans traces de stratification lorsqu'il est pur. Il brûle avec une flamme brillante lorsqu'on l'allume, et laisse un faible résidu de cendres. La distance des deux couches King et Cannel est assez variable : en gros, on peut dire qu'elle s'accroît vers le N.-E.

La couche dite « Wigan nine feet » n'est pas exploitable à Wigan même, à cause des nombreux lits de schiste intercalés qui la salissent. Il en est de même au

nord et à l'est de Bolton. Son épaisseur est très variable $1^m,40$ à Hulton, $2^m,30$ à Bridgewater, en deux bancs séparés par un lit schisteux de 90 centimètres; $1^m,50$ environ à Clifton. On l'exploite au sud de Wigan sous le nom de « Wigan six feet », et dans les environs de Manchester sous le nom de « Trencherbone Mine », une des plus importantes du district. A Outwood Colliery la couche a une épaisseur totale de 3 mètres. A la partie supérieure est un banc de charbon sale, dont l'épaisseur varie de 15 à 45 centimètres. Il y a un second nerf de schiste au milieu de la couche. Le charbon est brillant, un peu pyriteux, et présente un clivage assez net. Il sert pour la fabrication du gaz d'éclairage et pour les usages domestiques. A Clifton Hall Colliery la couche n'a que $1^m,80$ d'épaisseur; elle donne deux qualités de charbon domestique, celui du sommet étant le meilleur. Le toit est formé d'un schiste argileux de 5 à 6 centimètres d'épaisseur, au-dessus duquel est du grès.

La couche « Wigan four feet » ou « Five Quarters Mine » est généralement divisée en deux bancs dont l'un renferme, dans le district de Wigan, un lit de Cannel Coal.

Au-dessus, la couche « Wigan five feet » ou « Doe Mine » a une puissance variable de $1^m,50$ à 2 mètres; elle donne un charbon fort estimé et est exploitée très activement partout. A Outwood Colliery elle présente au sommet un lit de charbon impur, puis 30 centimètres de charbon moyennement dur; une couche de 30 centimètres de charbon tendre, enfin 1 mètre de charbon très dur, convenant principalement pour la production de la vapeur, à cause de sa faible teneur en cendres.

A Wigan et Manchester il y a entre cette couche et celle du groupe Pemberton, de nombreux lits de combustible, trop minces pour être exploités. Mais dans le

district de Saint-Helens, les couches équivalentes de « Cannel Coal » et « Four feet Coal » sont déhouillées activement.

A la base du groupe de Pemberton, on rencontre tout d'abord la « Pemberton four feet » dont l'épaisseur diminue de Wigan à Manchester. Elle est en effet à Rosebridge, de $1^m,30$; à Bickershaw, de $1^m,15$; à Worsley, de $0^m,60$, et à Pendleton, de $0^m,30$. Elle donne un charbon propre aux usages domestiques. Son toit, formé d'une argile schisteuse renferme souvent des Anthracosia.

Les couches « Pemberton five feet » et « Pemberton two feet » sont réunies à Bickershaw et à Radcliffe : en allant vers l'est ou vers l'ouest, elles se séparent en formant les couches de Black et White Coal de Clifton. Elles donnent d'ailleurs un charbon médiocre.

Contrairement à ce qui a lieu en général, la couche « Ince seven feet » ou « Rams Mine » est plus développée dans l'est du bassin qu'à Wigan. Malheureusement en quelques points, elle se sépare en deux bancs, ce qui en diminue beaucoup la valeur.

La couche « Brassey » est peu réputée; le charbon est trop tendre et trop pyriteux.

La couche « Ince four feet » ou Crumbouke donne au contraire un excellent charbon; elle garde une épaisseur constante à peu près partout, mais trop faible; aussi, à Rosebridge Colliery en a-t-on abandonné l'exploitation qui n'était pas suffisamment rémunératrice.

Les couches supérieures ne sont bien développées que dans le centre du bassin, près de Worsley, et dans un petit lambeau de terrain houiller à l'est de Manchester. La couche « Bin » est accompagnée au toit d'un lit de minerai de fer de 75 centimètres à 1 mètre de puissance, dont voici la composition :

Peroxyde de fer	28,50
Silice	15,50
Alumine	2,75
Calcaire	1,70
Matière bitumineuse	49,00
Eau	2,00
	99,45

C'est en somme un minerai très peu riche, puisqu'il ne contient que 20 p. 100 de fer métallique.

Les strades comprises entre la couche « Bin » et la « Worsley four feet » comprennent 25 couches minces de charbon et 4 lits de minerai de fer, principalement dans des grès gris et rouges.

La « Worsley four feet » termine la série moyenne des Coal Measures; son toit est formé par un schiste noir accompagné parfois d'argile réfractaire. Le mur est une argile pleine de *stigmaria*. On voit la couche affleurer nettement en plusieurs points des environs de Prestwich.

Upper Coal Measures. — Cet étage du terrain houiller occupe une bande étroite au sud du bassin, à l'endroit où il est le plus profond. Cette bande renferme Leigh, Astley, Worsley. C'est dans un petit lambeau à l'est de Manchester, que la série est le mieux représentée. On y voit effectivement de puissantes couches de calcaire, dites couches d'Ardwick, qui partout ailleurs sont recouvertes par les formations plus récentes. La stratification transgressive, peu marquée à Manchester, s'accuse davantage en allant vers l'ouest, diminue de nouveau, et passe par une alternance de maximums et de minimums.

A l'est de Manchester, la succession des couches a été mise en évidence par les travaux du tunnel qu'on a percé dans une colline pour le passage du canal de Bridgewater.

Les bancs constituant l'étage sont principalement des grès et des schistes avec deux ou trois couches de charbon dont la plus impòrtante est la couche « Yard Coal » de Pendleton : au-dessus viennent des bancs d'argiles, de marnes et de grès rouges avec lits de calcaire et d'hématite. Voici d'ailleurs le résumé de la section faite à Patricroft :

		mèt. c.
Alluvions		5,50
Trias		6,00
Marnes et grès permiens		28,00
Upper Coal Measures.	Schistes gris et rouges	3,00
	Hématite	0,60
	Schiste et grès avec calcaire.	54,00
	Charbon	0,60
	Schiste et grès avec calcaire.	310,00
	Couche « Worsley 4 feet »	1,30
		409,00

L'hématite de Patricroft contient 35 p. 100 de peroxyde de fer, soit 24 1/2 p. 100 de fer métallique, et 40 p. 100 de calcaire. Bien qu'elle ne soit pas très riche, elle est assez estimée à cause de sa pureté et à cause de la présence de la chaux.

Avant de quitter l'étude du terrain houiller, je dirai un mot du bassin de Burnley, que quelques auteurs rattachent à celui du Sud-Lancashire, tandis que suivant d'autres, il constitue un bassin séparé. Il est certain que la correspondance des couches n'est pas établie de l'un à l'autre, mais ce n'est pas une raison pour leur attribuer des formations indépendantes. En tout cas, il n'y a pas discontinuité du Millstone grit entre les deux.

Bassin de Burnley. — La ride de terrain houiller qui, selon M. Dickinson, réunit le bassin de Burnley à celui du Sud-Lancashire suit approximativement la vallée de

Rossendale. Au nord, le bassin est limité par les affleurements du Millstone grit et des Yoredale beds, à l'est par une faille produite lors du soulèvement de la chaîne pennine. Les couches de houille se présentent avec une allure régulière, avec un pendage assez raide à l'affleurement septentrional, inférieur à 20° partout ailleurs. Sous la ville de Burnley qui est au centre du bassin, elles sont horizontales. Un système de failles parallèles à celles du Lancashire, partage le bassin en bandes (belts) comme dans le district de Wigan. Ces zones, au nombre de six, sont de l'ouest à l'est, celles de Clayton, Altham, Hapton, Habergham, Burnley et Marsden.

Les couches appartiennent aux Lower et Middle Coal Measures. Une section dirigée du N.-O. au S.-E. et passant au nord de Padiham, montre la série complète du terrain anthracifère et houiller inférieur jusqu'à la couche « Fulledge Coal » qui correspond à Arley Mine. Cette série comprend par conséquent le Calcaire carbonifère, passe à la partie supérieure aux Yoredale beds, le Millstone grit et les « Gannister beds ». En tenant compte de la dénudation qui a enlevé la série supérieure et une grande partie de la série moyenne des assises houillères, on estime que la puissance totale des terrains carbonifères au moment de leur dépôt, n'était pas inférieure à 5.600 mètres, se répartissant ainsi :

Upper Coal Measures	600
Middle —	1300
Lower —	600
Millstone grit	1700
Yoredale beds	1400
	5600

Les Lower Coal Measures qui entourent le bassin de toutes parts, contiennent, comme le bassin principal, la couche « Gannister Coal » dont la puissance est de

$1^m,20$ et, en outre, correspondant peut-être à « Forty yards Coal », de $0^m,60$.

La série des Middle Coal Measures est recoupée à Burnley même ; voici, d'après Hull, le résumé de la succession des couches :

Section des couches des Middle Coal Measures traversées à Burnley.

	mèt. c.
Strates.	10,00
Charbon « Doghole Coal »	2,00
Strates.	6,00
Charbon « Kershaw Coal »	1,00
Strates.	25,00
Charbon « Shell Coal »	0,75
Strates.	5,00
Charbon « Main Coal »	1,50
Strates.	10,00
Charbon « Marsden Coal »	1,00
Strates avec huit couches minces.	50,00
Charbon « Lower yard » ou « Five feet »	1,50
Strates.	6,00
Charbon « Four feet Coal »	1,05
Strates.	24,00
Cannel impur.	0,70
Strates.	6,00
Charbon « Thin Coal »	0,80
Strates.	20,00
Charbon « Great Mine » avec un nerf schisteux.	1,20
Strates.	61,00
Charbon « China bed »	0,70
Strates.	30,00
Charbon « Dandy »	0,60
Strates.	43,00
Charbon « Fulledge Coal » ou « Arley Mine »	1,20
	286,00

Les couches les plus productives sont les suivantes:

Gannister Coal.	Lower Coal Measures.
Arley Mine.	Middle Coal Measures.
Great Mine.	Id.
Thin Mine.	Id.

Les autres ont déjà été exploitées ou ne valent pas la peine de l'être.

Formations récentes. — L'étude des terrains permiens et triasiques est intéressante au point de vue du prolongement des couches de houille sous leurs assises. On a fait, dans la bande qui s'étend entre Saint-Helens et la Mersey des sondages qui ont atteint les Upper Coal Measures sous le nouveau grés rouge. Bien qu'on pût s'attendre à ce résultat, on n'en a pas moins été surpris de trouver que le permien semblait être absent et que le trias était plus mince qu'on ne l'avait supposé. Mais avant d'insister sur cette découverte qui date seulement de 1881, il est nécessaire d'esquisser rapidement la constitution du permien et du trias dans le Lancashire.

Permien. — La formation permienne se divise, ici, comme dans le nord en deux étages : à la base un grès rouge, quelquefois vert, accompagné souvent de conglomérats ; à la partie supérieure des alternances de grès et de marnes rouges avec lits de calcaire fossilifère intercalés ; mais ce calcaire n'est jamais magnésien.

Ces deux étages sont séparés fréquemment par un grès grossier, dur et compact. Ils sont distribués le long d'une bande étroite brisée par des failles, sur le bord méridional du bassin ; leur plongement est d'environ 7° tandis que celui du terrain houiller sous-jacent est de 12° environ. Quant à leur puissance, j'ai indiqué plus haut (page 14) comme épaisseur maximum 80 mètres et 150 mètres respectivement. Mais elle est rarement atteinte :

A l'est de Manchester, elle est de. . .	60	mètres.
A West Leigh, elle est de.	50	—
A Peel Hall, elle est de.	90	—
A Patricroft, elle est de.	28	—

En général la puissance des assises varie avec une

grande irrégularité, tandis que leur composition présente une constance remarquable.

Trias. — Le trias qui limite le bassin sur une grande partie de son pourtour, notamment au sud et à l'ouest, comprend également deux étages :

Le grès bigarré (Mottled landstone),
Le Keuper.

Le grès bigarré se divise en deux étages, inférieur (Lower) et supérieur (Upper) séparés par des lits à cailloux (Pebble beds).

Le grès bigarré inférieur, qu'on voit affleurer sur tout le pourtour méridional, à Stockport, Warrington, Runcorn, et à l'ouest, à Ormskirk, se compose ordinairement de grès dont la couleur dominante est le rouge, et de marnes rouges, plus ou moins sableuses.

Les lits à cailloux ont une épaisseur considérable, voisine de 200 mètres : ce sont des bancs de grès rouge ou brun contenant des rognons de quartz et quelquefois, mais rarement, des lits marneux.

Le grès bigarré supérieur est tendre, d'un rouge assez vif ; aussi a-t-il été emporté fréquemment par les phénomènes diluviens et glaciaires, laissant à nu le grès inférieur plus résistant.

Sondages exécutés autour de Saint-Helens. — D'après M. Strahan, le premier manquerait complètement au sud de Saint-Helens, et les couches qu'on considérait comme appartenant à cette formation devraient être rangées dans le trias. Voici sur quoi se fondent ces assertions :

Sur une partie de la ceinture méridionale du bassin, le grès bigarré inférieur manque ; les lits à cailloux reposent directement sur le permien, et celui-ci sur les

Coal Measures. A Ashton, au sud de Wigan, le grès bigarré commence à apparaître, et s'étend à partir de là vers l'ouest, tout le long de la limite méridionale. On pensait que le terrain permien, n'étant plus apparent, se continuait sous le trias ; mais l'expérience n'a pas vérifié cette hypothèse.

Le croquis schématique (Pl. I, *fig.* 3 *bis*) montre, abstraction faite des failles, le contour du terrain houiller aux environs de Saint-Helens, avec la disparition du permien, et l'apparition du grès bigarré inférieur. D'après M. Strahan, ce qui est marqué permien serait en réalité du trias.

Examinons les sections de quelques puits foncés près de la bordure du trias. Voici celles de deux puits foncés de 1875 à 1878 par la Bold Hall Colliery C°, près de Saint-Helens Junction à 1.600 mètres de la limite du trias :

Alluvions		20 mèt.
Grès bigarré infér.	Marne rouge sableuse	3
	Grès bigarré	6
Soi-disant permien.	Argile blanche et rouge	9
	Grès rouge	18
Houiller supérieur.	Schistes rouges	110
	Coal Measures	380

A 1.200 mètres au nord-est de ce charbonnage et à peu près à 1.600 mètres de la limite du trias, deux puits forés par la Collins Green Colliery C°. Voici la section :

Alluvions		20 mèt.
Trias	Lits à cailloux	54
Soi-disant permien.	Argile rouge	7
	Grès dur	1
	Grès brun avec pyrite	12
Houiller	Schistes rouges / Coal Measures	360

Enfin à 1.600 mètres plus loin, et toujours à la même distance de la limite du trias, trois puits ont été foncés

par la Haydock Colliery Company et la succession des couches traversées est la suivante :

Alluvions		12 mèt.
Lits à cailloux		78
Soi-disant permien.	Argile rouge	3
	Grès brun et dur	2
Coal Measures		30

Le grès prétendu permien n'a plus ici que 2 mètres au lieu de 12 et 18 qu'il avait dans les sections précédentes, et 30 qu'il a dans une carrière près de Saint-Helens. L'argile n'a plus que 3 mètres au lieu de 7, 9 et 10 qu'elle avait dans les mêmes circonstances. Ainsi la comparaison de ces deux sections montre que les couches soi-disant permiennes diminuent progressivement du S.-O. au N.-E. Si elles avaient été recouvertes en discordance par le trias, l'argile l'aurait été tout d'abord, et le grès aurait gardé son épaisseur sauf là où il aurait été atteint par les dénudations. Or, il n'en est pas ainsi. Bien plus au S.-O. de Saint-Helens, dans la direction opposée, l'épaisseur des couches dites permiennes a aussi diminué. Un sondage fait à Fairnworth, à 2 kilomètres de la limite du trias, a traversé les couches suivantes :

Trias	Grès blanc et jaune	37 mèt.
Soi-disant permien.	Arg. vert clair, rouge, blanche.	1
	Grès rouge vif	1
Houiller	Marnes bariolées	12
	Bancs à calcaire	»

Ici l'amincissement se fait encore sentir davantage. Il ne paraît pas dû cependant à une dénudation antérieure au dépôt du trias ; il ne semble pas qu'il y ait discordance entre les bancs de grès et d'argile et le trias : ces formations ont un plongement de 7° au sud-ouest, et reposent sur le terrain houiller qui plonge de 12° dans la même direction. Aussi aucune raison stratigraphique ne s'oppose à ce qu'on range ce grès et cette

argile dans le trias. L'argile a d'ailleurs le facies triasique, et, d'après Hull, le grès ne se distingue en aucune manière du grès bigarré inférieur ; il y a donc toute probabilité que l'un et l'autre sont triasiques.

Bien plus, d'après M. Strahan, le permien manquerait complètement sous le trias dans le Sud-Lancashire, à l'ouest de Warrington. Il en est du moins ainsi à Parkside, près de Winswick, où la succession des couches est la suivante :

Lits à cailloux.		45 mèt.
Grès bigarré inférieur.	Argile rouge.	10
	Grès blanc et jaune avec argile et pyrites.	33
Houiller.	Marnes bariolées.	2

A Vinswick même, on a trouvé :

Grès dur avec lits d'argile et cailloux.		70 mèt.
Grès bigarré inférieur.	Argile rouge.	10
	Grès tendre.	5
	Grès avec nodules pyriteux.	6
	Grès rouge.	9
	Argile.	4
Houiller. Marnes bariolées avec calcaire.		21

Le niveau des pyrites est le même qu'à Collins Green ; la terre qui les renferme a perdu sa couleur vive, apparemment par la concentration de la matière colorante métallique en nodules. Quant aux marnes bigarrées qui terminent à la partie supérieure les Coal Measures, elles sont associées à Winswick avec du calcaire et correspondent au calcaire d'Ardwick.

On attend que des explorations ultérieures prouvent l'existence de couches de houille appartenant à la série supérieure, sous les assises du trias. Il est à craindre malheureusement qu'elles ne soient pas facilement accessibles. Aussi la rive droite de la Mersey ne deviendra-t-elle le siège d'une exploitation active que lorsque le reste du bassin aura été épuisé.

SECONDE PARTIE.

EXPLOITATION.

I.

VOIES DE COMMUNICATION.

Chemins de fer. — Le Lancashire est le comté d'Angleterre où la population est la plus dense (500 habitants environ par kilomètre carré), et l'un de ceux où les chemins de fer sont les plus développés. Ces chemins de fer appartiennent principalement aux Compagnies suivantes :

London and North Western Railway Company (L. N. W. R.);
Lancashire and Yorkshire Railway Company (L. Y. R.);
Manchester, Sheffield and Lincolnshire Railway (M. S. L. R.)
Cheshire Lines Committee.

Les lignes les plus importantes se groupent autour de la grande ligne (Main Line) du North Western qui, venant de Londres par Crewe, traverse le comté du sud au nord, entre Warrington, sur la Mersey, et Burton in Kendal, au delà de Lancaster, en passant par Earlestown, Newton-Bridge, Wigan et Preston (Pl. I, *fig.* 1).

Parmi les lignes reliées à celles-ci et convergeant vers Liverpool, on peut citer deux lignes, de Wigan à Liverpool, desservant spécialement les charbonnages du district de Wigan, la première (L. Y. R.) par Pemberton, la seconde (L. N. W. R.) par Saint-Helens, se prolongeant au delà de Wigan dans la direction du nord-est jusqu'à Blackburn et Padiham, et se raccordant à la grande ligne par de nombreux embranchements.

Une autre ligne directe relie le bassin de Burnley à Liverpool en desservant aussi Blackburn, Preston et Ormskirk (L. Y. R.).

De Liverpool à Manchester il y a deux lignes directes, la première par Earlestown (L. N. W. R), la seconde par Widnes et Warrington (Cheshire Lines Committee). Stockport est également en communication avec Liverpool par une ligne rejoignant la précédente à Garstown. Toutes ces lignes convergentes sont reliées par d'autres dont les plus importantes sont celles d'Ormskirk à Runcorn par Saint-Helens et de Wigan à Southport.

Les principales lignes qui sillonnent l'est du bassin relient Manchester à Wigan par Hindley (L. N. W. R.) et par Bolton (L. Y. R.), à Blackburn, Accrington, Rochdale, Oldham, Ashton, etc. Une ligne suit à peu près la ceinture du bassin, passant à Burnley, Rochdale, Oldham, Ashton (L. Y. R.).

Enfin l'extrémité sud-est, située dans le comté de Cheshire est desservie par les deux lignes de Manchester à Macclesfield, l'une par Bollington (M. S. L. R.), l'autre par Stockport (L. N. W. R.), d'où elle jette des embranchements sur Buxton et Crewe.

Canaux. — Une grande partie du charbon est transportée par eau au moyen des canaux dont les principaux sont ceux :

De Leeds à Liverpool qui dessert Wigan, Chorley, et Burnley ;

De Bridgewater, reliant directement Manchester à Runcorn sur la basse Mersey;

De Wigan à Leigh, qui se prolonge jusqu'au canal Bridgewater ;

De Lancaster, qui va du canal de Liverpool à Leeds jusque dans le Westmoreland par Preston et Lancaster;

D'Ashton et de Huddersfield qui font communiquer

Stockport sur la Mersey, avec Huddersfield sur la Calder, affluent de l'Ouse, en traversant les charbonnages du district d'Ashton.

Ces lignes principales sont reliées entre elles et avec les grands centres d'exploitation par des canaux secondaires.

La houille exploitée approvisionne surtout Manchester et les grandes villes manufacturières ; une partie est embarquée à Liverpool et livrée à l'exportation.

II.

CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES EXPLOITATIONS.

L'allure générale des couches est la même dans le Lancashire que dans les bassins houillers anglais. L'inclinaison est faible, la puissance moyenne varie de $0^m,75$ à $1^m,50$, toutes conditions éminemment favorables au développement d'immenses champs d'exploitation. De plus, on a largement profité des ressources offertes par les engins mécaniques, et sous ce rapport le Lancashire ne le cède à aucun autre bassin.

Malheureusement après avoir déhouillé le charbon dans le voisinage des affleurements, on a dû créer des exploitations à une grande profondeur et on s'est trouvé aux prises avec le grisou. De terribles accidents ont acquis au Lancashire une triste célébrité, et si le nombre des victimes est encore inférieur à celui du Yorkshire, les explosions y sont du moins plus fréquentes. En tout cas, la proportion des tués, comme nous le verrons plus tard, s'élève notablement au-dessus de la moyenne de l'Angleterre.

Ainsi la profondeur et l'extension des champs d'exploitation, tels sont les caractères saillants des mines du Lancashire, ainsi que le montrent les chiffres suivants :

Profondeur de quelques exploitations.

Ashton Moss Colliery, à Ashton, près Manchester. . .	860 mèt.
Rosebridge Colliery, à Ince, près Wigan.	745
Bickershaw Colliery, à Leigh, près Wigan.	617
Abram Colliery, à Leigh, près Wigan.	595
Clifton et Kersley, à Clifton, près Manchester.	525
Bridgewater Colliery.	520
Bradford, près Manchester.	510

Quant à l'étendue des champs d'exploitation, elle est considérable par rapport à ce qui se passe sur le continent. A Pendlebury, près Manchester, la longueur du champ d'exploitation est de 2.200 mètres en direction et de 1.800 mètres dans le sens perpendiculaire. A Pemberton, les chiffres correspondants sont 3.000 et 2.800 mètres.

Cette extension considérable, facilitée par l'allure des couches, est d'ailleurs une conséquence forcée de l'organisation des charbonnages anglais. D'après la loi, la propriété de la surface entraîne celle du tréfonds. Le propriétaire en concède l'exploitation, moyennant une redevance, pour un nombre d'années plus ou moins considérable. Il en résulte que l'exploitant a intérêt à réduire au minimum les dépenses de premier établissement et les constructions fixes qu'il devra abandonner à l'expiration de son terme. Il n'aura donc qu'un siège d'exploitation, comprenant aux moins deux puits (minimum fixé par la loi) et il atteindra les limites de sa concession par un réseau de galeries ouvertes dans la couche même. Cette disposition augmente beaucoup la longueur des voies de roulage et d'aérage : pour faire face à cette difficulté, il multipliera les installations d'engins mécaniques pour la traction, permettant d'aller chercher à des distances considérables le combustible et de le concentrer sur un ou deux envoyages.

On a même exagéré cette tendance en établissant le plus souvent les puits à une extrémité de la concession. On augmente ainsi la longueur totale des galeries de roulage, mais on diminue le nombre des artères où l'on établit des tractions mécaniques dont la longueur n'a pas grande influence sur la dépense, après l'installation des machines motrices. Il y a d'ailleurs une autre raison au choix de l'emplacement des puits. A cause de l'allure régulière des couches, cet emplacement n'est plus déterminé, comme sur le continent, par des considérations géologiques et techniques, mais uniquement par les circonstances de la surface, telles que facilité d'établissement, proximité des voies de communication. Or, ce sont généralement des points voisins des limites qui satisfont le mieux à ces conditions.

En raison de leur importance exceptionnelle, je consacrerai un chapitre spécial à l'étude des tractions mécaniques dans le Lancashire ; qu'il me suffise de dire maintenant que l'outillage en est très soigné.

III.

AMÉNAGEMENT GÉNÉRAL D'UN SIÈGE D'EXTRACTION.

Consistance d'un siège d'extraction. — La composition habituelle d'un siège d'exploitation comprend deux puits voisins servant, l'un à l'entrée de l'air et à l'extraction (*downcast*), l'autre à la sortie de l'air et souvent aussi à l'extraction (*upcast*). Le service de l'épuisement est en général peu important dans les mines du Lancashire. Partout les hommes descendent et remontent au moyen des cages d'extraction.

Les deux puits sont ordinairement séparés par une distance de 25 à 100 mètres ; rarement ils sont plus éloignés, pour les raisons que j'ai dites plus haut. Cela serait

cependant avantageux pour l'aérage et permettrait d'éviter les rabat-vent. Il est rare aussi qu'il y ait plus de deux puits pour un même siège.

Un trait caractéristique de l'installation au jour est l'absence complète de bâtiment d'extraction. La recette supérieure du *downcast*, élevée de 7 à 8 mètres au-dessus du sol, est supportée par une charpente légère, de manière à laisser complètement libre l'orifice du puits. Pour l'*upcast*, l'aménagement est différent suivant que la mine est aérée par foyer ou par ventilateur, et suivant que le puits sert ou non à l'extraction ; j'en donnerai plus loin quelques exemples.

Le nombre des couches exploitées est assez variable. L'intérêt du concessionnaire est de n'exploiter que les couches rémunératrices et de laisser les autres, pourvu que les premières soient assez puissantes pour fournir du combustible pendant toute la durée du bail. En général le nombre des couches exploitées ne dépasse pas, pour un même siège d'extraction, le nombre de cages circulant dans les puits. En tout cas, une cage ne dessert jamais qu'une recette ; mais une recette peut recevoir le charbon de plus d'une couche.

Voici quelques exemples d'aménagement de sièges d'extraction :

1° Siège double.

A. *Pas d'extraction par l'*upcast.

a. *Aérage par foyer.* — Le charbonnage de Clifton Hall réalise ce type simple. Ce charbonnage exploite les trois couches : Trencherbone, Five Quarters et Doe Mine ; ces couches sont parallèles et plongent de $0^m,30$ par mètre vers le sud-est. Le puits d'extraction et d'entrée d'air, profond de 510 mètres, aboutit dans la pre-

mière ; il recoupe les deux autres respectivement à 90 et 100 mètres plus haut. A partir de la base du puits qui est très largement aménagée se détachent :

1° Deux galeries de niveau vers l'ouest et vers l'est, ainsi qu'un plan incliné plongeant au sud, le tout dans la couche Trencherbone ;

2° Un travers-bancs de 400 mètres, qui recoupe les couches Five Quarters et Doe Mine, et sur lequel est établie une traction mécanique.

Ainsi, toute l'extraction se fait par le *downcast*. L'*upcast* est simplement surmonté d'une cheminée pour le foyer d'aérage.

b. *Aérage par ventilateur.* — Quand l'aérage se fait par ventilateur, le puits est fermé par un couvercle de forme variable présentant un trou pour qu'on puisse y faire passer, s'il y a lieu, le câble d'une benne et d'une cage. Voici la disposition adoptée à West Leigh, dans un des principaux sièges d'extraction de la Wigan Coal and Iron Company.

Le puits de retour d'air (Fan pit) est fermé au moyen d'un coffrage rectangulaire en bois présentant à la partie supérieure un orifice pour le passage des deux câbles d'une petite machine de service. Le coffrage en bois, en cas d'explosion dans le puits, offre un point faible qui protège par là même le reste de l'installation d'aérage. A partir de ce coffrage (Pl. I, *fig.* 4) se détache horizontalement un cylindre de $4^m,50$ de diamètre, en fer, renforcé à l'intérieur par un double système rectangulaire de barres diamétrales. Ce tube, éclairé par des hublots vitrés, aboutit à l'ouïe du ventilateur. Celui-ci est un Guibal de 12 mètres de diamètre, et de $4^m,50$ de largeur, à cheminée évasée et vanne mobile. L'enveloppe et la cheminée sont également métalliques ; elles sont formées de plaques de fonte assemblées par des boulons : les

joints sont rendus étanches par une composition de limaille de fer et de sel ammoniac.

A côté de cette installation très curieuse et très remarquable, dont je n'ai pas vu d'autre exemple en Angleterre, je citerai celle qu'on emploie plus habituellement, et qui est réalisée à Oak. Le conduit, l'enveloppe et la cheminée du ventilateur sont en maçonnerie : le puits porte une molette unique, dont le câble traverse le plancher de madriers qui en forme l'entrée.

La *fig.* 5 (Pl. I) montre cette installation.

B. *Extraction par l'*upcast.

a. *Aérage par foyer.* — A Bamfurlong Colliery, il y a deux sièges d'exploitation, dont le plus important comprend deux puits (n°s 3 et 4) exploitant les couches Wigan nine feet (ou six feet) et Wigan four feet.

Le premier sert à l'entrée de l'air, il a 5^{m},50 de diamètre et 340 mètres de profondeur. Le second, ouvert seulement depuis deux ans, est légèrement évasé ; il a 6 mètres de diamètre à l'orifice, et 5 mètres seulement à la base. Il sert aussi à l'extraction, mais il n'y a pas d'orifice spécial pour la sortie des fumées ; elles s'échappent librement dans l'atmosphère par l'orifice. Il n'y a pas de cheminée.

b. *Aérage par ventilateur.* — Quand l'aérage est fait par ventilateur, comme à Abram Arley, l'*upcast* est surmonté d'un coffrage vertical en bois avec porte à glissières. Je reviendrai plus loin sur ce dispositif à propos de Pemberton Colliery.

2° Siège triple.

A. *Pas d'extraction par l'*upcast.

a. *Aérage par foyer.* — L'installation d'Outwood Colliery comprend trois puits formant un seul siège d'ex-

traction. Deux de ces puits servent à l'extraction et à l'entrée de l'air (l'un aussi à l'épuisement); le troisième est un puits de retour d'air à foyer. Il y a en outre un vieux puits hors d'usage et un autre dont une partie seulement est utilisée comme puits intérieur.

Le nombre total des couches exploitées est de six, savoir :

Doe Mine.	par le premier puits d'extraction.
Five Quarters. . . .	
Trencherbone. . . .	
Cannel Mine.	

et, au-dessus de celles-ci :

3 yards Mine. . . .	par le second puits d'extraction.
2 yards Mine. . . .	

Il y a aussi quelques travaux dans la couche « Four feet Mine ». Toutes ces couches sont parallèles et plongent au sud-ouest de $0^m,40$ par mètre.

Le premier puits a 300 mètres de profondeur, et recoupe à 290 mètres de profondeur la couche Doe Mine ; à partir du fond est un travers-bancs qui recoupe successivement les quatre couches (Pl. I, *fig.* 6). Le service d'extraction se fait pour les deux couches inférieures par un puits intérieur de $5^m,80$ de diamètre et de 70 mètres de profondeur. Ce puits s'arrête au recoupement de la Trencherbone, et, à partir de ce niveau est un plan incliné qui va chercher 80 mètres plus bas le niveau inférieur d'exploitation de la Trencherbone. A ce niveau est un second travers-bancs qui recoupe les couches en des points où commence pour chacune d'elles un nouvel étage d'exploitation. On se propose de prolonger le puits d'extraction jusqu'à ce niveau inférieur; en attendant, l'extraction se fait par le plan incliné sur lequel est établie une traction mécanique, et le charbon des deux étages est envoyé au jour par une seule recette.

Le second puits d'extraction est aménagé comme le premier : les deux couches qu'il exploite sont recoupées à un même niveau par un travers-bancs sur le parcours duquel on rencontre aussi quelques couches de charbon ; mais elles sont trop minces pour être exploitées.

L'aérage se fait par un foyer à cheminée qui ne présente rien de spécial et dont il n'y a rien à dire. Cette mine présente un développement considérable et rare de travers-bancs, ce qui tient à la forte inclinaison des couches. On y voit aussi combien les Anglais tiennent à ce principe que je signalais plus haut, de réduire au minimum le nombre des envoyages, quelque soit le nombre des couches.

b. *Aérage par ventilateur.* — A Abram Colliery est également un siège triple comprenant :

Puits n° 1. *Downcast* exploitant Wigan 9 feet à 300 mètres.
Puits n° 2. *Id.* exploitant Wigan 4 feet et Wigan 5 feet à 270 et 240 mètres.
Puits n° 3. *Upcast*, muni d'un Guibal, disposé d'une manière analogue à celui de Oak.

B. *Extraction par l'*upcast.

Aérage par foyer. — Ce type est présenté par le charbonnage de Rosebridge, qui exploite quatre couches.

Wigan 4 feet et 9 feet.
Yard Mine, à. . . . . 620 mètres.
Arley Mine, à. . . . . 745 mètres.

L'installation entière du charbonnage comprend trois puits principaux :

1° Deux puits d'extraction et d'entrée d'air, jumeaux, dans chacun desquels circule une cage, les deux câbles s'enroulant sur le tambour d'une même machine placée entre les deux puits. Ces cages sont affectées au service des deux premières couches.

2° Un puits de sortie d'air par lequel se font l'aérage de toute la mine au moyen de trois foyers, et le service d'extraction comprenant deux cages pour les couches Yard et Arley. A cet effet, les deux câbles s'enroulent sur deux bobines de diamètre un peu différent, montées sur le même axe, le câble plus long s'enroulant sur la bobine dans le même sens que sur la molette.

En réalité, c'est un siège double dont le *downcast* a été dédoub

3° Siège quadruple.

A Bickershaw Colliery est un quadruple siège d'extraction, qui sera décomposé plus tard en deux sièges doubles. En voici l'organisation actuelle :

Les puits d'entrée d'air sont au nombre de trois; mais il n'y en aura que deux lorsqu'on aura installé sur l'un d'eux un Guibal pareil à celui qui est établi actuellement sur l'*upcast*.

En attendant, ce puits ne sert pas à l'extraction. Les couches exploitées sont :

Ince four feet (Crumbouke Mine), à. . . .	300 mèt.
Pemberton six feet.	350
Pemberton four feet.	430
Pemberton seven feet.	450
Wigan five feet.	580
Wigan four feet.	600
Wigan six feet.	617

L'*upcast*, qui sert à l'extraction avec les deux *downcast*, est fermé par des couvercles plats, formés de plaques de tôle supportées par un cadre rectangulaire en bois, et faisant l'office de clapets Briart. La cage en arrivant au jour soulève le clapet mobile. Une particularité intéressante à signaler est que le conduit du retour d'air se bifurque en deux et que le Guibal a deux ouïes.

On voit d'ailleurs (Pl. I, *fig.* 7) le plan de l'installation au jour de l'*upcast*.

4° Siège quintuple.

L'installation entière de la houillère de Pemberton comprend deux sièges d'extraction distincts : le premier, assez ancien et peu intéressant, le second d'installation récente et grandiose.

C'est de celui-là seulement que je parlerai. Il comprend cinq puits :

1° Le Queen's Pit, puits d'extraction et d'entrée d'air.

2° Le King's Pit, puits d'extraction et de retour d'air.

3° Le Bye Pit, puis d'extraction et d'entrée d'air.

4° Un puits de retour d'air à foyer.

5° Un puits d'exhaure.

Ces cinq puits exploitent neuf couches (Pl. III, *fig.* 1).

Le Queen's Pit sert à extraire le charbon des trois couches inférieures : Arley, Orrell 5 feet et Yard. Le charbon de Orrell five feet est envoyé par une balance située dans un puits intérieur spécial à la recette R_1 établie à la base du puits dans Arley Mine. Il y a une recette spéciale R_2 pour Yard Mine. Le King's Pit sert à l'extraction des couches Wigan 4 feet et 9 feet, Cannel et King's Coal. Ces deux dernières ne forment qu'une seule veine, le cannel étant au toit et ayant une épaisseur minimum de $0^m,10$, elles sont desservies par une recette R_3 ; quand aux deux autres, elles sont réunies par un travers-bancs et envoient leur charbon à un même envoyage R_4. Chacune des cages dessert une de ces recettes. Le Bye Pit exploite les deux couches supérieures Pemberton 4 feet et 5 feet. Le puits de retour d'air à foyer ne sert qu'à l'aérage de la dernière. Il est situé, ainsi que le puits d'épuisement, à 500 mètres en-

viron de Bye Pit : les dimensions de la figure m'ont forcé de l'indiquer comme étant plus près.

Toutes les couches, à l'exception de Pemberton four feet, sont aérées au moyen du ventilateur installé sur le King's Pit. Ce puits est coiffé d'un coffrage en bois (boxing), avec double porte à glissières (Pl. II, *fig.* 1). La cage en arrivant au jour soulève directement les portes intérieures ; les ouvriers manœuvrent les portes extérieures. Le toit du coffrage est percé de simples trous pour le passage des câbles. Pour atténuer l'obscurité du puits, on a remplacé le bois par des vitres à la partie supérieure du coffrage. Ici, par exception, la recette est constituée par un bâtiment spécial en maçonnerie, à 8 mètres environ du dessus du sol. Celle du Queen's Pit est au même niveau, mais elle est installée en plein air, établie simplement sur une charpente et couverte légèrement au moyen d'une toiture en tôle ondulée. Le sol des recettes est, comme toujours, dallé en plaques de fonte.

IV.

DÉTAILS DE L'AMÉNAGEMENT DES PUITS.

Les puits sont généralement muraillés en briques, quelquefois revêtus de plaques de fonte. Le nombre des cages circulant dans chaque puits est de deux, à peu d'exceptions près ; elles sont de dimension variable, suivant l'importance de l'extraction. Elles sont portées au moyen de câbles en fil d'acier ronds ou plats, par l'intermédiaire de chaînes de suspension qui s'attachent aux sommets de la cage. Entre les chaînes et le câble, on rencontre assez souvent un appareil de sûreté destiné à éviter l'envoi aux molettes. Il se compose d'une sorte de pince qui s'ouvre par le passage des chaînes dans une lunette étroite guidant le câble à la partie supérieure.

Le guidage des cages est quelquefois en bois, plus souvent, dans les exploitations récentes et dans les puits de retour d'air à foyer servant à l'extraction, en câbles de fils d'acier, ou en rails. Je n'ai vu qu'un exemple de parachute à griffe, et encore n'était-on pas bien sûr qu'il fût prêt à fonctionner en cas d'accident.

Le clichage se fait au moyen de taquets commandés par une longue tige que gouverne ordinairement le mécanicien de la machine d'extraction.

Les molettes ont généralement un grand diamètre; celles de Queen's Pit ont $5^{m},85$. Elles sont portées sur des chevalements en bois, ou en fer dans les installations nouvelles.

Exemples. — Voici, à titre d'exemples, l'organisation des principaux puits que j'ai visités :

Outwood. — A Outwood, le puits principal d'extraction, profond de 300 mètres a $3^{m},65$ de diamètre; il est muraillé en briques sans mortier, sur une épaisseur de $0^{m},11$. Il y circule deux cages à deux étages contenant chacune deux wagons bout à bout. Les guidages, en bois, sont placés sur le petit côté de la cage. Le chevalement est aussi en bois et ne présente rien de remarquable. Le câble, en fil d'acier rond, a 31 millimètres de diamètre.

Clifton Hall. — A Clifton Hall, le puits d'extraction est revêtu d'un tubage en plaques de fonte sur les 90 premiers mètres ; le reste est muraillé en briques. Les cages sont à trois étages, portant chacun deux wagonnets, côte à côte, en sorte que le service se fait sur chaque cage par un seul des grands côtés. Comme le guidage, en bois, est placé sur les petits côtés, on n'a pas été obligé de l'interrompre aux recettes; mais les

manœuvres sont plus longues que lorsque le service se fait par deux côtés à la fois. Il n'y a pas de parachute ni d'évite-molettes. Le chevalement, en bois, s'appuie sur le bâtiment de la machine.

Au fond du puits est installée une balance sèche pour le service des trois étages de la cage. La *fig.* 2 (Pl. II) en représente l'installation pour une cage : il y en a une symétrique de l'autre côté du puits pour la seconde.

Deux contre-poids p et p_1 projetés en P agissent sur une poulie projetée en X. Deux autres contre-poids p' et p'_1 projetés en P' agissent sur une poulie montée sur le même arbre et dans un plan différent. Enfin, suivant X se projettent également la poulie d'un frein à bande, et deux poulies transmettant le mouvement à Y.

Westleigh. — A Westleigh, le Sovereign Pit (*downcast*) a $5^m,50$ de diamètre. Il y circule deux cages allongées à un seul étage, renfermant trois wagonnets côte à côté, dont l'entrée et la sortie se font pour chaque cage sur un seul des grands côtés. La cage est guidée par deux câbles d'acier, placés sur les petits côtés et tendus par des poids (3 tonnes environ). Le câble d'extraction est plat, en fil d'acier.

Bamfurlong. — A Bamfurlong est également un exemple de guidage en câbles d'acier; il y a trois câbles pour chaque cage, deux aux extrémités d'un grand côté, et un au milieu du second grand côté. Les cages sont à deux étages, mais un seul est utilisé, il contient trois wagonnets. Il n'y a pas de clichage; aux recettes, la cage reste suspendue sur le câble.

Bickershaw. — Le puits n° 1 de Bickershaw présente un guidage en câbles d'acier, tendus à la base du puits au moyen d'écrous : chaque cage a quatre guides. Au

voisinage de la recette, il y a de plus un guidage en bois. La cage est à trois étages, contenant chacun deux wagonnets bout à bout. Les cages, en arrivant aux recettes, enlèvent sur leur toit les balustrades de protection faites en fer et guidées chacune par deux câbles métalliques. Le clichage est du type ordinaire anglais. Il n'y a ni parachute, ni évite-molettes.

Au puits n° 2 du même charbonnage (*upcast*), le guidage est également en câbles. La cage a deux étages seulement, porte deux wagonnets côte à côte. Il n'y a pas de clichage.

Au puits n° 3 (*downcast*) est un guidage en rails à patin ordinaires. Il y en a quatre, deux pour chaque cage, situés sur le grand côté intérieur et distants de 2^{m},50. Chaque système de deux guides opposés est réuni de 4 en 4 mètres par des entretoises en fer (Pl. II, *fig.* 3 et 4)). Un système de traverses en charpente placées dans le plan diamétral du puits supporte tout le système du guidage par l'intermédiaire des entretoises. La cage a deux étages, portant chacun trois wagonnets bout à bout.

Abram. — A Abram Colliery, le guidage est fait en câbles tendus par des poids. Les cages ont deux étages et chacun d'eux contient quatre wagonnets, comme à Lens. D'après les renseignements qu'on m'a donnés à ce charbonnage, la moyenne de la durée des câbles d'extraction en fil d'acier aurait atteint quatre ans.

Rosebridge. — Le puits Ince deep Pit, de Rosebridge Colliery, a 4^{m},80 de diamètre. Il y circule deux cages à deux étages, tenant à chaque étage deux wagonnets bout à bout. Les câbles d'extraction sont plats, en acier, de 12 centimètres de largeur ; leur durée moyenne n'est que de quatorze mois et leur prix de 9.000 francs. Le che-

valement est en bois, formé simplement de deux piédroits et de deux jambes de forces contreventées entre elles et avec les piédroits.

Pemberton. — Le Queen's Pit, à Pemberton, a 5^{m},50 de diamètre ; il est muraillé en briques. Il y circule deux cages à trois étages recevant par étage deux wagonnets bout à bout, et guidées par des rails à patin placés sur les longs côtés extérieurs et portés sur des traverses engagées dans le muraillement. Le chevalement est métallique ; il se compose d'un avant-corps formé de quatre montants en poutres à treillis, contreventées, et de deux jambes de force, également en poutres à treillis, d'une inclinaison presque égale à celle des brins inclinés du câble, et appuyées sur le bâtiment de la machine. Le câble est rond, en acier, à section décroissante : son diamètre près du tambour est de 56 millimètres. Sa durée est de deux ans. Les cages sont pourvues du système ordinaire contre l'envoi aux molettes, et le clichage est fait, comme toujours, par des taquets à longue tige.

L'installation du King's Pit au même charbonnage est la même que celle du Queen's Pit, sauf la fermeture qui a été décrite plus haut (p. 47).

V.

MÉTHODES D'EXPLOITATION.

Les méthodes d'exploitation employées dans le Lancashire sont les suivantes :

1° Chantiers étroits ;
2° Massifs longs ;
3° Long wall.

En général, le toit est foudroyé après le déhouille-

ment. On fait un remblai partiel, quelquefois complet, lorsque le charbon contient des bancs de schiste ou lorsque la faible puissance de la couche nécessite le coupage au toit ou au mur des voies de roulage; mais l'idée de prendre du remblai au dehors et de l'introduire dans la mine ferait sourire tous les exploitants.

1° *Chantiers étroits.*

Dans ce système, on prend à partir d'une galerie de traçage principale des chantiers de 15 à 20 mètres de large, distants l'un de l'autre d'une longueur à peu près égale. Lorsque l'avancement est arrivé à une petite distance de la galerie, on s'élargit encore à droite et à gauche. La partie centrale de l'enlevure formée est remblayée, ou du moins limitée par des murs et un remblai partiel, de manière à réserver deux chemins latéraux à droite et à gauche du front de taille (Pl. II, *fig.* 5).

Les différentes enlevures ou *stalls* s'avancent ainsi parallèlement, en laissant entre elles des piliers ou *pillars* de 15 à 20 mètres.

Ces piliers sont ensuite repris dans une seconde partie du travail. Pour reprendre un pilier, deux chantiers voisins commencent à l'extrémité du champ, par se tourner l'un vers l'autre jusqu'à se rejoindre ; on obtient ainsi une face de 15 à 20 mètres de charbon qu'on prend pour front de taille, en revenant vers la galerie originelle. On ménage, comme dans la première partie du travail, une galerie de service à chaque extrémité du front de taille, et on ne laisse derrière soi que l'éboulement. On enlève donc, en fin de compte, la totalité du charbon.

A Bamfurlong, où l'on emploie cette méthode, les piliers ont 20 mètres de large sur 30 mètres de long. A Pemberton les piliers ont la même dimension, mais les « stalls » n'ont que trois mètres de large.

2° *Massifs longs.*

Je donnerai comme exemple de ce système la méthode suivie à Outwood et à Clifton Hall, où elle présente diverses variantes.

La méthode suivie à Outwood comprend un traçage et un dépilage. Lorsqu'on ouvre tout d'abord un champ d'exploitation, la mère-galerie du fond est poussée jusqu'aux limites du champ, c'est-à-dire ici sur une longueur de 1.000 mètres environ. On conduit à la fois deux galeries jumelles séparées par un massif de 20 mètres et réunies de distance en distance par des montages en vue de l'aérage. Dans les quartiers où la couche fournit du remblai, la galerie reçoit une largeur suffisante pour permettre de le loger à la partie inférieure. Lorsqu'on est arrivé aux limites du champ, on recule de 150 à 200 mètres dans la mère-galerie, et à partir de ce point, on pousse un montage sur lequel on établit un plan incliné automoteur. A partir de ce plan, on trace des niveaux de 25 en 25 mètres.

Lorsqu'on a enlevé le charbon compris entre ce plan et la limite du champ, on recule encore de 150 à 200 mètres et on pousse un nouveau plan incliné à partir de la mère-galerie ; on achève le traçage comme précédemment, le plan précédent formant la nouvelle limite, et ainsi de suite.

Pour avoir plus de chantiers dans un même district, on fait quelquefois l'attaque simultanément par plusieurs plans inclinés. Dans ce cas, l'intervalle entre deux plans inclinés successifs forme un sous-district distinct ; entre deux sous-districts successifs, on laisse un pilier de 10 mètres de charbon qu'on reprend à la fin.

Le dépilage d'une bande s'effectue par deux méthodes, en montant et en chassant.

A. *Dépilage montant.* — Dans ce cas, la bande est prise par enlevures successives montantes de 8 mètres environ de large. Dans le chantier montant, le remblai fourni par la couche est logé derrière l'ouvrier sur une partie de la largeur de l'enlevure, de manière à réserver une voie pour l'enlèvement du charbon. Cette voie est munie d'un petit plan incliné mobile. De plus, la partie restée libre de la voie analogue dans l'enlevure précédente forme un chemin dont le pied est au chantier et dont la tête débouche dans le niveau supérieur; en sorte que l'ouvrage affecte une forme de baïonnette qui permet la circulation de l'air (Pl. II, *fig.* 6). Comme on a peu de remblai, on ne fait le remblayage avec soin que dans la partie voisine de la voie des charbons.

B. *Dépilage chassant.* — Dans ce système, on prend du côté du plan incliné une largeur de 3 à 4 mètres en amont-pendage de la galerie de niveau, et on pousse en chassant jusqu'à la limite. On prend ensuite une seconde enlevure dans le même sens, et ainsi de suite (Pl. II, *fig.* 7).

Le chemin de fer est *rippé* vers la limite du charbon vierge à chaque enlevure et enfin le remblai est logé au-dessous du chemin de fer en une série de murs *montants* formant un remblai incomplet. La circulation de l'air reste pendant tout le dépilage la même qu'à la fin du traçage, sauf que le niveau remonte de sa position primitive jusqu'au niveau suivant.

Méthode de Manchester.

A Clifton Hall, les massifs longs sont découpés en piliers par des niveaux parallèles aux galeries de traçage. On emploie un dépilage par tailles montantes successives immédiatement contiguës, dont il y a une seule par pilier long.

Le traçage comprend deux plans inclinés jumeaux

séparés par un massif de 10 à 12 mètres, et à partir desquels on a conduit une série de douze à treize niveaux, distants de 28 mètres. (Un écartement plus considérable vaudrait mieux pour ménager les piliers de charbon intermédiaires.) Un des plans inclinés ne sert que pendant le traçage pour la ventilation, sauf la partie inférieure qui sert aussi au dépilage des deux derniers niveaux. Le niveau de roulage du fond est également double ; il se compose de deux galeries jumelles, séparées par un pilier de 10 à 12 mètres et réunies de 60 en 60 mètres par des recoupes.

Ce traçage fait, les différents piliers sont dépilés en reculant au moyen de tailles montantes. Il y a un décrochement d'une largeur de taille, d'un pilier au suivant, en sorte que le plan de l'ouvrage rappelle une exploitation par gradins renversés (Pl. II, *fig.* 8). Dans chaque chantier, on fait un remblai incomplet voisin de la paroi verticale de charbon vierge, de manière à conserver une voie générale tout le long de l'ouvrage en gradins. La largeur totale d'un chantier est de 11 mètres ; celle des remblayages $2^m,70$, celle de la voie $1^m,80$; en sorte qu'il reste $6^m,50$ sur lesquels l'éboulement se produit, fournissant ainsi le remblai pour le muraillement.

Le service d'extraction se fait par chaque niveau jusqu'au grand plan incliné, sauf pour les deux niveaux inférieurs pour lesquels on a utilisé la galerie auxiliaire de percement en y installant un petit plan incliné spécial. Dans le grand plan incliné circulent à la fois trois wagons côte à côte sur un grand truck porteur. La distance entre deux grands plans inclinés est d'environ 300 mètres ; il y en a quatre en service dans le district que j'ai visité.

Cette méthode, très développée dans l'est du Lancashire, y est connue sous le nom de méthode de Manchester.

Elle est employée avec une légère variante au même charbonnage pour l'exploitation de la couche Trencherbone. Le traçage comprend une série de maîtresses galeries situées à 200, 400 et 600 mètres en aval-pendage de la base du puits; il y a de plus, entre deux mères galeries consécutives, un niveau, ce qui réduit à 100 mètrès la largeur d'un champ d'exploitation. Pour ramener le charbon de ces niveaux intermédiaires dans le plan incliné principal, celui-ci est accompagné de plans inclinés de 100 mètres de long.

Le dépilage se fait par la méthode des tailles montantes simultanées en gradins contigus. On prend, à partir de la limite du champ, une longueur de 60 mètres en reculant dans la galerie, et sur cette face prise comme front de taille, on conduit trois chantiers montants de 20 mètres chacun, avec un décrochement de 5 à 6 mètres de l'un au suivant. Dans chaque chantier, on construit derrière soi deux massifs montants de remblai, larges de 4 mètres et laissant entre eux, au milieu de la largeur de la taille, un intervalle de 3 mètres pour la descente du charbon. Pour construire les murs, on soutient le toit au moyen de *chogs* ou piles de bois établies de distance en distance. On muraille à loisir et on les retire ensuite. Quant à la voie inclinée des charbons, elle est armée en plan automoteur à double effet. Les câbles sont ronds en fils de fer ou d'acier. Les premiers ont 9 millimètres, les seconds 6 millimètres de diamètre.

Indépendamment de cet intervalle réservé, la largeur du muraillement laisse, à droite et à gauche de chaque taille, un espace de 7 à 8 mètres, sur lequel le toit n'est pas supporté. Il en résulte, entre les parties remblayées de deux tailles consécutives, un champ d'éboulement qui fournit le remblai nécessaire (Pl. II, *fig.* 9).

L'air arrive par le plan incliné principal, suit la mère-

galerie inférieure, *monte* le long des tailles en gradins du sous-étage inférieur, revient par le niveau intermédiaire jusqu'à la voie de roulage du chantier le plus éloigné du sous-étage supérieur, suit le front de taille en gradins en *descendant* reprend le niveau intermédiaire, et enfin un retour d'air général parallèle au plan incliné principal. Entre deux est la galerie inclinée qui a servi à l'aérage pendant le traçage.

Il y a dans chaque chantier cinq ouvriers, dont deux gamins. L'avancement est de 5^m,50 par deux semaines. On déplace la partie du plan incliné tous les mètres.

En aval-pendage du niveau (400) et en attendant l'installation des niveaux inférieurs, on exploite aussi de la manière suivante : On prend un chantier de 5 mètres de large, qu'on pousse en aval-pendage sur une longueur de 60 mètres. On se retourne alors perpendiculairement et on fait un chassage long de 20 mètres, à partir duquel on remonte en prenant la face de 20 mètres comme front de taille, et remblayant derrière soi. Ordinairement, on a assez de stérile pour tout remblayer. Sinon, on se contente de protéger la descenderie par un muraillement partiel. Les chantiers de 20 mètres de large sont séparés par des piliers inclinés de 20 mètres également, qu'on reprend dans une seconde période. Le charbon est extrait au moyen d'un treuil à bras mû par un gamin. La couche a 1^m,80 d'épaisseur; mais, dans les voies de roulage, on laisse une planche de 0^m,60 en couronne pour tenir le toit.

3° *Long wall.*

Long wall outwards. — La méthode du long wall commence à être très répandue dans le Lancashire; c'est presque toujours le long wall « outwards », c'est-à-dire que les travaux s'étendent dans toutes les direc-

tions, à partir d'un massif de protection réservé à la base des puits. Je vais rappeler sommairement le principe de la méthode. On pousse un long front de taille en enlevant tout le charbon de la couche et ménageant derrière soi, au moyen de murs en remblai renforcés par des « chogs » ou piles de bois, un réseau de voies principales ou *headings*, et de voies transversales ou *roads*. Le front de taille est, le plus ordinairement dans sa direction, oblique à la fois aux deux systèmes de voies, en sorte que l'aspect d'un district est celui que représente la *fig.* 10 (Pl. II).

Les wagons sont amenés par les roads, puis par les headings jusqu'au contact du front de taille, et comme la distance de deux headings est d'une vingtaine de mètres, on a le long du front de taille de 20 mètres en 20 mètres (sauf l'obliquité) des places d'embarquement pour le charbon. En réalité, dans le réseau de galeries ci-dessus défini, on ne conserve pas indistinctement toutes les voies, mais seulement celles qui sont nécessaires au roulage; on conserve donc les headings, et on ne garde des roads que le dernier tronçon aboutissant au chantier.

Variante. — On peut modifier avantageusement ce système, lorsque le toit est assez bon pour pouvoir se tenir sur 2 à 3 mètres de largeur au front de taille. Dans ce système, on ne ménage derrière soi, par murs et « chogs » qu'un seul système de galeries parallèles, celui des headings. Le front de taille leur est alors perpendiculaire. On établit un chemin de fer le long même de ce front de taille, entre le charbon vierge et la ligne formée par les extrémités des headings, des murs, et le commencement de l'éboulement. A chaque point de rencontre, entre le chemin de fer du front et ceux des headings, on a une plaque de fonte pour la manœuvre des wagons.

De cette façon, on réalise les avantages suivants :

1° On évite la construction des murs constituant l'aménagement des roads et le remblayage ultérieur de celles-ci.

2° Par la présence du chemin de fer tout le long du front de taille, on évite tout boutage à la pelle ou transport à la main du charbon.

3° On rend la répartition des chantiers le long du front de taille, indépendante du nombre des voies.

Comme le front de taille se déplace parallèlement à lui-même, il faut, pour que ces avantages subsistent, qu'il en soit de même du chemin de fer. On le *rippe* donc parallèlement à lui-même tous les deux jours, en même temps qu'on prolonge les voies des *headings*. Le déplacement est égal à l'avancement pendant le même temps, soit 1 mètre environ.

On voit que cette variante exige un toit assez bon, non seulement pour permettre le vide nécessaire à l'établissement du chemin de fer, mais encore pour qu'on puisse travailler deux jours avec un avancement de 1 mètre sans le déplacer, et par suite sans prolonger les murs en remblai.

Exemple : *Bickershaw*. — J'ai vu comme exemple de la première variante l'exploitation de la couche Crumboüke, à Bickershaw. L'aménagement comprend un grand niveau partant des puits, sur lequel se branchent deux grands plans inclinés automoteurs desservant l'amont-pendage, et un plan incliné pourvu d'une traction mécanique pour l'exploitation de l'aval-pendage. Sur ces plans se branchent de 50 mètres en 50 mètres des niveaux qui sont les *roads* définis ci-dessus. A partir de chaque niveau des galeries montantes (*headings*), distantes de 20 mètres, desservent directement le front de taille. Celui-ci s'étend dans une direction générale oblique aux deux systèmes

de voies. Dans l'ouverture d'un district d'exploitation, on commence l'attaque à différents niveaux, les fronts de taille partiels s'étendant jusqu'au niveau supérieur, et se rejoignant en un front de taille général. On réserve les voies dans l'éboulement, au moyen d'un muraillement épais de 5 mètres de chaque côté de la voie, construit en stérile, qu'on prend à cet effet au toit des voies, sur une épaisseur de 1 mètre. Au point de vue de l'aérage, la mine comprend six districts en exploitation.

Westleigh. — A Westleigh, l'exploitation de la couche Wigan nine feet présente un aménagement tout à fait analogue; mais, à cause de l'inclinaison de la couche, les galeries montent en demi-pente jusqu'au front de taille au lieu de suivre la ligne de plus grande pente.

Rosebridge. — A Rosebridge, on emploie la seconde variante pour l'exploitation de la couche Arley Mine : voici quelques détails sur l'aménagement, qui est fort intéressant et peut être pris comme modèle de long wall. La couche, de 1^{m},15 d'épaisseur, plonge vers l'est de 1/8 environ. L'exploitation est limitée en amont-pendage par une faille qui a relevé les couches de 500 mètres. Le charbon est homogène sur toute la hauteur de la couche : il y a au toit une couche de 15 centimètres de charbon sale qui forme un banc nettement séparé et qui peut ordinairement être laissée en couronne. Le vrai toit est net et formé d'un schiste argileux gris clair. Le mur est également schisteux.

A partir du niveau principal de roulage qui aboutit à la base du puits d'extraction, s'élèvent en demi-pente plusieurs plans inclinés automoteurs servant d'artères principales aux différents districts qui sont tous en amont-pendage. La disposition en demi-pente de ces voies a permis de leur donner une convergence qui réduit

l'étendue du roulage dans la maîtresse galerie de niveau. Ces plans inclinés sont munis de chemins de fer automoteurs, la voie comprenant trois rails avec évitement central. Ces voies ont une longueur de 500 à 1.000 mètres.

Sur chacun de ces plans inclinés se branchent des niveaux distants de 80 à 100 mètres, et à partir du niveau le plus élevé, qui est le plus récent, on a une série de galeries montantes parallèles aux plans inclinés et distantes de 25 mètres. Ces voies desservent immédiatement la face des chantiers, qui s'étend dans une direction sensiblement rectiligne.

Toutes les voies susmentionnées sont réservées dans l'éboulement au moyen de bourrages de remblai latéraux renforcés par des piles de bois. Ces bourrages ont de 4 à 7 mètres et même 9 mètres de largeur. Le long du front de taille, on maintient le toit au moyen de buttes ; on peut s'avancer de 4 à 5 mètres, ce qui correspond à une ou deux semaines de travail, suivant les cas, sans prolonger les muraillements protecteurs des voies ; et par suite l'espace libre en arrière du front de taille est constamment suffisant pour établir des bouts de chemins de fer allant jusqu'à chaque voie. L'espace compris entre deux voies est divisé en deux chantiers, occupés chacun par un piqueur. Les piqueurs payent leurs rouleurs, posent leurs bois, construisent leurs remblais et déplacent eux-mêmes le chemin de fer.

Comme toujours, l'air arrive par le plan incliné, suit le niveau inférieur de roulage, puis le front de taille d'un bout à l'autre et revient à l'*upcast* en traversant le plan incliné sur un air-bridge. Bien qu'il passe aux chantiers 1.000 mètres cubes par minute, la température y est très élevée à cause de la profondeur.

Pemberton. — A Pemberton, on emploie la même méthode, sauf dans certains districts de la couche Orrell

five feet. L'aménagement est calqué sur le précédent. Le front de taille est très étendu et, au point de vue de l'exploitation, forme un seul tout; mais, au point de vue de l'aérage, le courant d'air est partagé en quatre ou cinq fractions, dont chacune ne parcourt qu'une portion du front de taille et revient par un retour d'air spécial.

Long wall working home. — Toutes ces variantes appartiennent au long wall outwards; j'ai vu à Clifton Hall une variante du long wall working home qui se rapproche beaucoup de la méthode de Manchester, pour l'exploitation de la couche Five quarters.

La couche n'a que 60 centimètres de charbon exploitable. La face du chantier est poussée en taille montante à partir d'une maîtresse galerie de fond, avec des voies montantes distantes et 20 mètres pour le roulage. Il n'y a pas de voie de recoupe. Chaque voie montante, armée en plan incliné à double effet, forme l'artère médiane d'un chantier de 20 mètres de large. Il y a un décrochement de 5 à 8 mètres d'un chantier au suivant. La face du long wall a un développement total de 300 mètres. Quelquefois, dans chaque taille, on fait régner le long du front un bout de chemin de fer sur lequel on amène le charbon dans de petits wagonnets.

Le remblai est complet; on le maintient le long des voies montantes par des murs soignés. On tire les matériaux de ce remblai d'une couche de mauvais charbon qu'on laisse d'abord en couronne, puis qu'on abat à une petite distance en arrière du front de taille. Les piqueurs posent leurs bois et construisent leurs remblais eux-mêmes. Ils abattent par jour $1^{t},15$ à $1^{t},20$ de gros et $0^{t},15$ de menu.

VI.

ABATAGE.

L'abatage se fait ordinairement à la poudre; mais il y a beaucoup de mines grisouteuses où l'usage de celle-ci est prohibé pour l'abatage du charbon, à Rosebridge et à Bickershaw, par exemple. S'il est nécessaire de l'employer pour le coupage des voies ou les travaux au rocher, on ne le fait que pendant les postes de nuit.

Dans quelques mines mêmes, où on abat le charbon à la poudre, on ne tire les coups que pendant la nuit. On met le feu avec une paille bourrée de poudre, ou une mèche qu'on allume à l'aide d'un fil de fer rougi à la flamme de la lampe.

Voici comment on procède, en général, pour l'abatage. On tâche de profiter d'un lit de schiste ou de charbon impur pour pratiquer un havage dans la couche, puis avec quelques coups de mine, ou des coins bien disposés, on abat la houille généralement en gros morceaux. Si la couche a une épaisseur suffisante (supérieure à 2 mètres), ou si le charbon du toit est de mauvaise qualité, ou si le toit lui-même est ébouleux, tandis que le charbon se tient bien, on laisse sans scrupule une planche de 30 à 60 centimètres en couronne. Le cannel est toujours recherché avec soin et séparé du charbon ordinaire. Le menu est quelquefois laissé dans le remblai, quelquefois tiré au jour.

Au charbonnage de Bower, on s'est servi avec succès de cartouches à air comprimé pour l'abatage d'un charbon très dur. Les essais d'aiguille infernale ne sont pas entrés dans la pratique. Quant au nouveau procédé d'abatage à la chaux qui a pris naissance dans le Derbyshire, je n'en ai pas vu d'exemple, et je ne crois pas qu'il soit encore appliqué dans le Lancashire; mais il est

probable qu'il s'y développera prochainement, car la tendance actuelle paraît être de supprimer complètement l'emploi de la poudre dans les mines grisouteuses.

Je n'ai pas vu non plus de haveuses mécaniques.

VII.

TRACTION MÉCANIQUE.

Les tractions mécaniques souterraines par câble ou chaîne sans fin sont particulièrement développées dans le Lancashire. Dans le groupe des houillères de Burnley, appartenant aux héritiers du colonel Hargreaves, il n'y a pas moins de 24 kilomètres de traction mécanique. Certaines circonstances locales forcent aussi à avoir des tractions mécaniques au jour. Je donnerai des exemples de ces installations, dans l'un et l'autre cas.

A. *Traînage souterrain.*

1° *Townley. Traction par chaîne sans fin.* — Au charbonnage de Townley, près Burnley, on exploite deux couches, dont la plus profonde, Arley Mine, possède la traction la plus étendue. Les travaux, qui ont commencé à la base du puits, s'en éloignent peu à peu, en sorte que la longueur des galeries de roulage s'accroît indéfiniment. Trois plans inclinés longs de 640, 450 et 360 mètres, et qui auront plus tard 900 mètres, aboutissent dans la mère-galerie à des distances respectives de 1.080, 1.350 et 1.570 mètres de la base du puits. A la hauteur des massifs en exploitation, la longueur d'une section de plan incliné n'est que de 90 mètres, et il y a de petites galeries parallèles allant de chaque chantier au point d'embarquement le plus rapproché en aval-pendage. A cause de la faible inclinaison de la couche,

et du faible poids des wagonnets (150 kilogrammes à vide), le roulage dans ces galeries se fait sous l'influence de la pesanteur, sans qu'on ait besoin de frein. A partir des têtes de section *cc'c"* (Pl. II, *fig.* 11), en aval desquelles tout a été déhouillé, sont des tronçons plus longs, dont les chaînes sont en connexion les unes avec les autres, par l'intermédiaire de celles de la mère-galerie, en sorte qu'on peut employer le travail de la descente des wagons au roulage dans la mère-galerie. Aussi la machine de 32 chevaux, établie près de la base du puits, ne fournit-elle qu'une partie du travail qu'elle pourrait développer, et suffira-t-elle encore à la traction mécanique dans la mère-galerie lorsque celle-ci aura atteint la limite du champ d'exploitation, et aura 800 mètres de plus. Les chaînes sans fin de la mère-galerie sont au nombre de trois, allant :

1° Du puits à la base du plan incliné n° 1 ;
2° Du plan incliné n° 1 au plan incliné n° 2 ;
3° Du plan incliné n° 2 au plan incliné n° 3.

La machine motrice actionne par l'intermédiaire d'engrenages cylindriques et coniques la poulie motrice de la traction mécanique principale, et une petite poulie dont la chaîne sert simplement à faire passer les wagonnets de l'autre côté du puits (Pl. II, *fig.* 12).

Entre la poulie motrice et le puits, les wagonnets pleins parcourent d'eux-mêmes la voie, qui est légèrement inclinée ; ils sont arrêtés par un taquet qu'on soulève au moment de les introduire dans la cage. La chaîne repose sur les wagons par l'intermédiaire de fourches qu'elle abandonne dans les courbes : elle est alors soutenue et guidée par des rouleaux de friction horizontaux et verticaux. En vertu de la vitesse acquise et d'une légère inclinaison donnée à la voie, les wagonnets continuent leur course, puis, après avoir psasé la courbe, ils reprennent la chaîne.

Il y a au passage de la faille, indiquée Pl. II, *fig.* 11, une pente assez raide. Pour empêcher que la chaîne ne glisse ou n'échappe, on l'a doublée d'une seconde chaîne sans fin qu'un cylindre force à s'appliquer sur les wagonnets et qui reçoit son mouvement d'une poulie montée sur le même arbre que la poulie principale *fig.* 13.

La figure montre la disposition du pied des plans inclinés, les chaînes font un tour et demi ou deux tours et demi autour de la poulie, et la transmission a lieu d'une section à l'autre par des roues d'angles (*fig.* 14).

La chaîne entre d'elle-même et très simplement dans les fourches au moyen d'un cylindre tendeur de 40 centimètres de diamètre et de 50 centimètres de long qui la force à descendre au niveau du wagonnet. Pour la retirer, il y a également un petit cylindre qui la soulève, tandis que des guides en fer retiennent le wagon sur les rails et l'empêchent de sauter (Pl. III, *fig.* 2 et 3).

La chaîne pèse 8 kilogrammes le mètre courant; les anneaux ont 112 millimètres de long, 79 millimètres de large et 12 millimètres d'épaisseur. Les arbres sont en acier; ceux des poulies motrices ont 152 millimètres de diamètre; ceux des roues dentées, 102 millimètres; ceux des poulies des plans inclinés, 127 millimètres. Ces poulies sont en fonte, avec couronne en acier : leur diamètre est de $1^{m},04$, et leur épaisseur est variable suivant le nombre de spires enroulées autour d'elles. La première poulie, autour de laquelle la chaîne fait trois tours et demi, a 358 millimètres d'épaisseur; les autres, de 15 à 25 centimètres. La gorge est creuse, mais la section n'est pas en arc de cercle; c'est une courbe dont le sommet est voisin de la face inférieure, afin que la chaîne en s'enroulant et se déroulant se maintienne dans la même position. Les poulies qui sont à la tête des plans inclinés sont pourvues de frein à bande.

Les wagonnets sont en tôle de fer de 2 millimètres

d'épaisseur : ils contiennent $0^t,34$ de charbon, ils n'ont pas de tampons de choc. Les roues sont folles sur les essieux et n'ont pas de boudin, les rails étant constitués par des cornières.

La machine motrice fait cinquante tours par minute; la poulie motrice, dix seulement; il en résulte une vitesse de 55 centimètres par seconde; la distance moyenne des wagons étant 9 mètres, on transporte 600^t en huit heures. On pourra, lorsque l'extraction sera plus active, porter la vitesse à 75 centimètres et diminuer de moitié l'intervalle des wagons.

Le mécanicien embraye à volonté la poulie motrice et règle l'admission de la vapeur. A la tête de la chaîne sont deux ouvriers qui poussent les wagons pleins vers le puits, et ramènent les vides sous la chaîne; le long de la chaîne, il faut deux ouvriers pour surveiller les attelages; il y en a deux également à chaque relai dans la mère-galerie, et un à la tête de chaque plan incliné. Ceux-ci font passer les wagonnets d'une section sur l'autre : pour un plein qu'ils envoient, ils en reçoivent un vide, de sorte qu'il y en a toujours le même nombre aux chantiers.

Les frais de roulage atteignent 9 centimes par tonne et par kilomètre.

2° *Bickershaw. Traction par câble sans fin.* — On a établi dans la couche Crumbouke à Bickershaw une traction mécanique par câble sans fin, longue de 2.000 mètres, il y en a aussi une dans la couche Pemberton seven feet, longue de 500 mètres. Toutes deux reçoivent leur mouvement d'une machine placée au jour et munie de deux tambours dont chacun est affecté à un traînage. Les câbles cheminent dans les puits n° 1 et n° 2 ; mais le mode de transmission n'est pas le même pour les deux puits. Au puits n° 1, un câble sans fin spécial s'enroule

autour de la poulie motrice au jour, et autour d'une seconde poulie à la base du puits, qui transmet elle-même le mouvement au câble de la traction mécanique. Au puits n° 2, au contraire, c'est le câble sans fin du traînage lui-même dont les deux brins remontent au jour par des poulies de renvoi et s'enroulent sur le tambour de la machine. Le premier système est préféré pour le renouvellement du câble qui est rendu plus facile. Au fond, la tension du câble est obtenue par le moyen d'un chariot portant la poulie de renvoi de l'extrémité, chariot dont on règle la position au moyen d'une vis.

Partout les voies ont $0^{m},50$ de large : le câble a 22 millimètres de diamètre. L'attache des wagonnets se fait au moyen d'un système simple et ingénieux. Une tige en fer de 15 millimètres de diamètre environ, recourbée deux fois en sens inverse, est mobile dans une douille verticale fixée à la paroi du wagonnet. Le câble repose sur la courbure que présente la tige, et la friction qu'il développe tend à la diriger parallèlement à lui-même. Il en résulte une pression qui pince le câble latéralement. Les wagonnets sont espacés de 5 à 10 mètres, et la vitesse de circulation est de 2 kilomètres à l'heure (Pl. III, *fig.* 4).

A Abram Colliery est installée une traction analogue ; la machine motrice est installée au fond : elle marche au moyen de l'air comprimé qui lui envoie un compresseur établi à la surface.

3° *Traction mécanique par câble tête et câble queue.* — Dans la couche Orrell five feet, à Pemberton, il y a un système de « main and tail rope » sur une longueur totale de 1.600 mètres. On a dû employer ce système à cause des nombreuses et brusques inflexions de la galerie dans le sens horizontal et vertical. La machine est au jour et les câbles descendent au fond par le Queen's

Pit, dans des tuyaux en bois. On se propose d'établir une traction semblable dans une autre couche pour une exploitation en vallée. Elle sera mue par une machine souterraine à air comprimé.

B. *Exploitation en vallée.*

Quelquefois, après avoir dépilé la houille en amont du niveau principal correspondant à la base du puits d'extraction, on exploite l'aval-pendage par des plans inclinés avec traction mécanique. En effet, si on approfondissait le puits, ce qui serait déjà très coûteux, il faudrait en outre, à cause de la faible inclinaison des couches, creuser des travers-bancs d'une longueur considérable avant de les recouper. Aussi les exploitations en vallée sont-elles très répandues ; elles s'emploient d'ailleurs en général en même temps que des tractions sur niveaux, comme je l'ai vu à Bamfurlong.

1° *Bamfurlong. Câble sans fin.* — Dans ce charbonnage la traction mécanique est établie sur un niveau de 1.000 mètres de long et sur deux plans inclinés de 400 mètres. La machine motrice reçoit sa vapeur du jour par des tuyaux de $0^m,20$ de diamètre dont le profil est représenté (Pl. III, *fig.* 5).

Les wagonnets ne sont pas attachés lorsqu'ils sont vides et que la voie est en palier. S'ils sont pleins, on les attache avec une chaîne qu'on enroule autour du câble, à l'avant seulement si la voie est en palier, à l'avant et à l'arrière sur les plans inclinés. La vitesse du mouvement est de 2.400 mètres à l'heure. La voie est large de $0^m,56$, et le poids des rails varie de 6 à 7 kilogrammes par mètre courant, suivant qu'ils sont en fer ou en acier. Avec un tel système, il ne peut pas y avoir de courbes : aussi dans les tournants, faut-il détacher

les wagons et les pousser à bras. Pour maintenir le câble tendu, la poulie située à l'extrémité des artères est portée par un chariot formant l'écrou d'une vis qu'on manœuvre à volonté, et dont la tête bute contre un étrier engagé dans la paroi.

2° *Par plans inclinés à simple effet.* — A Dukinfield et à Pendleton, on exploite deux couches à plusieurs niveaux différents desservis par une machine motrice à deux tambours, sur lesquels s'enroulent des câbles indépendants, et pouvant servir soit à l'extraction des wagons pleins, soit à la descente des wagons vides. Pour cela les tambours sont munis de freins, et peuvent être embrayés ou débrayés à volonté. On peut ainsi extraire à toutes les distances, sans perdre de temps à allonger ou à raccourcir le câble. Chaque niveau est pourvu de deux voies, l'une qui reçoit les wagons vides, l'autre où se forment les trains de wagons pleins. Chaque train est composé de dix véhicules.

Dukinfield. — A Dukinfield en particulier, on exploite par un puits de 627 mètres de profondeur, les couches « Black mine » et « Cannel mine. »

De la base du puits partent : 1° un plan incliné desservant « Black mine ; » 2° un travers-bancs recoupant « Cannel mine » dans laquelle s'enfonce aussi un plan incliné. Ces plans ont une inclinaison de 24°, et une longueur de 500 à 600 mètres, qui sera portée à 900 : chacun d'eux est desservi par un câble et un tambour de la machine motrice. Le câble a 25 millimètres de diamètre : lorsque les hommes montent par le plan incliné, on le double d'un second câble de sûreté passant sous les wagonnets.

Pendleton. — Le champ d'exploitation de Pendleton a

2.000 mètres de long sur 1.200 mètres de large. Les puits, qui ont été foncés près de la limite de la concession, ont 490 mètres de profondeur, et exploitent deux couches séparées par une épaisseur de 40 mètres. Les plans inclinés sont eux-mêmes voisins de la limite du champ en direction : leur longueur est divisée en six étages. A la tête de chacun d'eux est une machine motrice à deux tambours dont les câbles desservent trois étages. Les niveaux sont reliés aux plans inclinés, non par des embranchements, mais par des chariots roulants de 7 mètres de long. L'extraction de la couche inférieure « Rams mine » est de 400 tonnes par poste de dix heures. La vitesse des trains, composés de dix wagonnets, est de 10 à 11 kilomètres à l'heure.

A Clifton Hall j'ai vu une installation tout à fait analogue. Le plan incliné avait deux voies indépendantes, desservant, chacune pour leur compte, la partie ouest et la partie est de la couche. L'extraction journalière est de 500 tonnes.

C. *Traînage mécanique au jour.*

Un traînage mécanique de 1.000 mètres de long relie le charbonnage d'Outwood au canal voisin. Il comprend une partie en palier, longue de 800 mètres avec deux coudes, puis une partie en pente, également de 800 mètres. Les voies au nombre de deux, sont en rails à patin, éclissés, de $0^m,585$ d'écartement, pesant 10 kilogrammes le mètre courant. Il y circule des wagons rectangulaires en bois longs de 1 mètre, larges de 0,80 et profonds de $0^m,55$, tenant $0^t,35$ de houille : leurs roues sont en fonte, solidaires avec les essieux en fer forgé. La chaîne est constituée par des anneaux de 15 centimètres de long : l'épaisseur est de 15 millimètres pour la partie en palier et de 18 millimètres pour la par

tie inclinée. Chaque wagon est pourvu d'une pince fixe qui assure la connexion avec la chaîne. Des gamins, postés aux deux coudes, fixent et détachent la chaîne, lorsque les wagonnets passent. L'écartement moyen des wagons est de 10 mètres ; la vitesse du mouvement n'est que d'un kilomètre par heure.

La traction par chaîne ou câble sans fin présente les avantages d'un mouvement lent, régulier et facile à gouverner, ce qui est d'une grande importance pour l'entretien de la machine, de la chaîne ou du câble, des wagonnets et de la voie. Les montées et les descentes n'ont pas grande influence, pourvu que les deux extrémités soient à peu près au même niveau. Il faut pour le guidage un très petit nombre de rouleaux de friction. Enfin les déraillements sont rares, et la force motrice n'a pas besoin d'être considérable. Aussi ce système est-il adopté presque exclusivement dans le Lancashire.

VIII.

MACHINES D'EXTRACTION.

Généralités. — Les machines horizontales, jumelées, à connexion directe, et sur bâti ordinaire, sont presque toujours préférées aux machines verticales, à cause de la facilité d'installation et de réparation. J'ai vu cependant, au puits n° 4 d'Abram, une machine récente construite sur bâti américain, c'est-à-dire ne reposant sur le sol que par deux points d'appui. Au puits n° 5 du même charbonnage, on a établi dans la salle de la machine un portique roulant sur chariot-cabestan, pour faciliter la réparation des organes.

Ordinairement les tiges de pistons sont munies de glissières à deux faces : parfois, les fonds des cylindres sont percés, et les tiges se prolongent à l'arrière en

contre-tiges se mouvant dans un manchon, ou munies d'une glissière à une face. Les paliers sont droits, ou inclinés à 45°.

Distribution. — La distribution est faite ordinairement par quatre soupapes placées soit aux quatre angles du cylindre, soit toutes d'un même côté ; elles sont commandées par une coulisse (le plus souvent une coulisse de Gooch). A la machine d'extraction du puits n° 3 de Bamfurlong, les soupapes, toutes intérieures, sont gouvernées par une tige à glissière fixée à la coulisse et roulant sur des galets (Pl. III, *fig.* 6).

A la machine du puits n° 4, même charbonnage, les soupapes sont disposées aux quatre coins du cylindre, celles d'admission à l'intérieur ; celles d'exhaustion à l'extérieur. Elles sont commandées par des pièces oscillantes. Un étrier limite la course de la soupape, et assure le retour sur son siège (Pl. III, *fig.* 7).

On emploie aussi pour ramener les soupapes sur leur siège des poids, ou des ressorts à boudin, ou comme dans l'exemple de la *fig.* 6, des ressorts à air.

Ces machines marchent souvent sans détente. Au puits n° 5 d'Abram, la distribution est celle qui est représentée *fig.* 7 ; on y a ajouté un petit artifice pour avoir une détente à la main, mais on ne s'en sert pas habituellement. Voici la disposition adoptée (Pl. III, *fig.* 8) : la came de commande C agit sur $\beta\beta$ seulement, tandis que la tige de la soupape est portée par $\alpha\alpha$; ces deux portions de la pièce oscillante A sont en connexion par un système qui n'est pas représenté en détail sur la figure ; mais la connexion est détruite par le déclic δ, lorsque l'étrier *e* dans son mouvement descendant vient buter contre la came *g*. Cette came est fixe pendant la marche de la machine : on en règle la position à la main. Suivant qu'elle est plus ou moins élevée, le déclic se produit

plus ou moins tôt, et la soupape en retombant sur son siège produit une détente plus ou moins longue.

Les distributions à soupapes présentent l'inconvénient de créer dans le cylindre des espaces nuisibles considérables.

L'emploi du tiroir mû par un excentrique et une coulisse, avec ou sans détente, est également très fréquent. Les organes de la distribution peuvent être alors intérieurs ou extérieurs aux cylindres. Cette dernière disposition est la meilleure, parce qu'elle permet de rapprocher les paliers supportant l'arbre moteur ; les tiroirs sont alors commandés par des excentriques montés sur le prolongement de l'arbre, extérieurement aux paliers.

Comme installation grandiose de machines d'extraction, on peut citer celle de Pemberton, où les énormes machines desservant les puits Queen's Pit et King's Pit, sont dans le même bâtiment. (Voir plus bas les dimensions.)

Puissance.—Pour indiquer la puissance des machines, la force nominale en chevaux est un élément assez médiocre. J'ai préféré donner plus bas pour quelques-unes les dimensions des cylindres que j'ai relevées, avec quelques autres éléments intéressants, tels que la pression de la vapeur, la vitesse d'extraction, et la quantité de charbon élevée par jour (page 75).

On voit d'après ce tableau que la vitesse de l'enlevage est souvent considérable. A Rosebridge notamment, elle est tout à fait effrayante : on franchit 745 mètres en 50 secondes. La vitesse maximum atteint 1.600 mètres par minute, c'est-à-dire celle d'un express lancé à toute vapeur. Lorsqu'il y a des hommes on met 5 secondes de plus, pour prendre plus de précautions au départ et à l'arrivée, mais la vitesse en marche est la même.

Dimensions et puissance de quelques machines d'extraction.

NOMS DES PUITS où sont installées les machines d'extraction.	DIMENSIONS DU CYLINDRE.		PROFONDEUR des puits.	DURÉE de l'enlevage.	VITESSE moyenne par seconde.	EXTRACTION		PRESSION effective moyenne.
	Diamètre.	Longueur.				par enlevage.	journalière.	
	mèt.	mèt.	mèt.		mèt.	tonnes.	tonnes.	kilog.
Sovereign Pit (West Leigh).....	0,95	1,98	340	25 secondes.	13,60	»	»	3,300
Outwood n° 2............	0,81	1,52	295	»	»	1,4	350	4,500
Clifton Hall (mach. vertic. à 1 cyl.).	1,07	1,83	500	1 min. 10 sec.	7,15	2,1	»	»
Bamfurlong n° 3..........	0,81	1,83	340	35 secondes.	9,70	1,5	700	»
Bickershaw n° 1...........	0,91	1,83	440	45 secondes.	9,80	3,15	»	»
Id. n° 2..........	0,76	1,83	»	»	»	2,0	»	»
Id. n° 3...........	0,91	2,13	600	»	»	3,15	»	»
Abram n° 1..............	0,67	1,52	300	»	»	»	500	»
Id. n° 2.............	0,67	1,52	280	28 secondes.	10,00	1,4	750	3,500
Id. n° 4.............	0,81	1,83	500	»	»	»	»	»
Id. n° 5.............	0,86	2,13	500	»	»	2,8	»	»
Ince deep Pit (Rosebridge).....	0,91	1,83	745	50 secondes.	15,00	1,4	650	»
Queen's Pit, Pemberton......	0,91	1,83	580	1 minute.	9,60	2,25	650	4,000
King's Pit, Pemberton........	0,91	1,83	560	»	»	2,25	600	4,000

Freins. — Avec une telle rapidité d'extraction, il faut, pour la sécurité et l'économie avoir des freins énergiques. Les machines d'extraction sont pourvues de freins à pied ou à vapeur : ce sont souvent des freins à bande. Une disposition qui commence à être assez répandue dans le Lancashire est la suivante, qui est due à M. Burns, attaché à l'exploitation des charbonnages de Planklane à Westleigh. La *fig.* 9 (Pl. III) montre l'élévation latérale et le plan du frein à sabot appliqué au tambour d'extraction. Sur l'arbre du tambour sont deux poulies dont la surface est recouverte de métal et sur lesquelles agit le sabot. Au-dessous du tambour, et à $0^m,30$ environ en arrière de l'axe (en projection), est un madrier horizontal qui supporte deux paliers servant au mouvement de rotation de deux forts leviers. Les leviers sont munis de sabots en bois agissant sur la surface de la poulie correspondante ; dans l'épaisseur des bois sont pratiqués quelques trous pleins de sable fin, de manière à avoir un serrage plus intense et plus régulier. Les leviers, longs de 3 mètres environ, sont manœuvrés à leur extrémité par une tige à peu près verticale, dont la longueur est réglée au moyen d'écrous, et qu'on soulève au moyen de leviers à main. Ceux-ci ont leur petit bras équilibré par un contre-poids : au grand bras est adaptée une tige verticale servant à la manœuvre. Pour serrer le frein, le mécanicien agit avec le pied et avec la main sur cette tige, et abaisse le frein. Si le serrage est insuffisant, il manœuvre de même le second frein, qui est absolument indépendant du premier.

Bobines et tambours. — Les machines d'extraction agissent sur des bobines ou des tambours suivant que le câble est plat ou rond. C'est ce dernier cas qui est le plus fréquent. Les bobines sont constituées par un estomac en fonte sur lequel sont implantés des bras en bois qui encadrent le câble.

Le tambour peut être cylindrique (quelquefois légèrement conique) ou spiraloïde. Dans le premier cas, il est ordinairement formé de trois roues de fonte avec un estomac en bois. Il a un diamètre variable de 4^m,50 à 5^m,50. Les tambours spiraloïdes ont des diamètres extrêmes compris entre 5 et 6 mètres pour le plus petit et 9 à 10 mètres pour le plus grand. Ils présentent quelquefois du côté de l'intérieur une partie cylindrique sur laquelle s'enroulent 10 ou 12 tours de câble. Sur la partie spiraloïde, des guides en fer, en forme de gouttière, empêchent le câble de glisser.

Au King's Pit (Pemberton Colliery), chacun des câbles extrait à une profondeur différente. A cet effet, le tambour relatif à la couche la moins profonde est cylindrique; l'autre se compose d'une partie cylindrique de plus grand rayon, et d'une partie spiraloïde située au centre, entre les deux parties cylindriques et les raccordant.

IX.

ÉPUISEMENT.

Les mines du Lancashire sont généralement sèches, et l'épuisement n'est jamais une préoccupation pour les exploitants. Aussi n'y a-t-il rien de général à dire sur la matière, chaque mine employant les moyens qu'elle juge appropriés aux circonstances.

Voici quelques-uns des dispositifs adoptés :

A Outwood, il n'y a de venue d'eau notable que dans les couches 2-yards et 3-yards (Rams Mine et Crumbouke). On l'épuise à l'aide d'une pompe foulante placée au fond et recevant sa vapeur d'une chaudière également au fond. Cette machine est horizontale, à traction directe, à double effet. Les deux plongeurs ont 0^m,25 de diamètre et 0^m,90 de course. Ces plongeurs sont dans

le prolongement l'un de l'autre; leur tige commune est fixée à une potence sur laquelle agissent quatre tiges motrices; les deux intérieures se meuvent dans un cylindre de $1^m,05$ de diamètre, chacune des deux autres dans un cylindre de $0^m,38$ de diamètre (Pl. III, *fig*. 10). Autrefois la machine fonctionnait en *compound*, les deux petits cylindres servant à la pleine pression. La machine se trouvant insuffisante, on admet la vapeur à pleine pression dans le grand cylindre, et on ne se sert plus des petits. La distribution a lieu par des tiroirs, dont la course est renversée par des butoirs. La pompe donne quinze coups par minute et élève 9 litres d'eau par seconde à une hauteur de 220 mètres.

A Bamfurlong, l'eau, qui est en très petite quantité d'ailleurs, est épuisée au moyen de deux pompes *Cameron* installée dans la couche Pemberton-4-feet.

A Bickershaw l'eau est enlevée dans des bennes lorsque l'extraction du charbon est terminée.

A Rosebridge est une petite machine foulante avec générateurs souterrains.

Quelquefois, un vieux puits est consacré exclusivement à l'épuisement, comme à Oak et à Pemberton.

X.

VENTILATION.

Appareils d'aérage.

Les appareils d'aérage employés en Angleterre, foyers ou machines de ventilation, sont généralement très puissants : mais la disposition des chantiers en culs-de-sac dans lesquels l'air doit entrer par des galeries à parois insuffisamment muraillées, fait qu'une grande partie du courant d'air envoyé dans la mine ressort sans avoir été utilisée sur le trajet qu'on voulait lui faire parcourir.

Les puits d'entrée et de sortie d'air étant presque toujours très voisins l'un de l'autre, et débouchant dans la même couche, l'air fait la première partie de son trajet en montant, la seconde en descendant ; bien que les couches soient peu inclinées, cette disposition n'est pas favorable à une bonne ventilation, car, dans cet immense réservoir en forme de cloche et sans issue naturelle que présente l'amont-pendage, pourront s'accumuler de grandes quantités d'air vicié. On peut dire d'une manière générale que les chantiers qui sont sur le passage direct du courant d'air sont seuls aérés.

Foyers. — Les foyers et les ventilateurs Guibal sont à peu près les seuls appareils d'aérage usités dans le Lancashire. L'alimentation des foyers se fait soit par un courant d'air frais venant directement de la base du puits d'entrée, soit par un courant aussi peu grisouteux que possible, dérivé du retour d'air général de la mine. Dans ce cas, le retour d'air général débouche dans la cheminée à une hauteur telle que les flammes ne puissent l'atteindre. Cette précaution est peut-être inutile, car, lorsqu'il entre dans *l'upcast*, l'air grisouteux est dilué dans une telle quantité d'air plus ou moins vicié, mais non chargé de grisou, que l'inflammation d'un pareil mélange paraît impossible.

A Outwood le foyer est établi dans deux enceintes en briques, entre lesquelles circule de l'air frais. Le foyer est divisé en deux compartiments de $2^m,10$ sur $1^m,50$. On y brûle du menu sale : 24 wagonnets par jour, soit 7 tonnes environ. Sur ce foyer passent les retours d'air de deux des couches ; les deux autres aboutissent dans le rampant. Ce foyer débite environ 4.500 mètres cubes par minute : la dépression au manomètre est de 63 millimètres d'eau.

A Clifton Hall, le foyer, construit en brique, est éga-

lement isolé de toutes parts. La grille a 3 mètres de long sur 2m,70 de large : la consommation de charbon est peu considérable. Sur le foyer passe le retour d'air de « Trencherbone Mine. » Ceux de « Five quarters Mine » et de « Doe Mine » aboutissent dans *l'upcast* à 100 mètres plus haut environ. La circulation totale est de 4.500 mètres cubes par minute, la dépression est de 0m,05.

M. Hall, inspecteur des mines du West Lancashire, condamne la ventilation par foyers dans les mines à grisou. « Il paraîtrait, dit-il dans son rapport, très étrange « à un observateur ordinaire, que dans des mines où « on emploie exclusivement les lampes de sûreté, l'air, « après avoir ramassé toutes les impuretés des travaux, « vienne en contact avec le feu nu d'un foyer. Un tel « fait n'est pas à l'honneur de l'art des mines, et cependant, il est une multitude de houillères où on peut « le constater. Ce n'est là qu'une ancienne manière de « ventiler les mines ; elle disparaît peu à peu, mais si « lentement, qu'il est probable que les directeurs de « mines ne seront instruits que par une expérience personnelle et désastreuse. »

Ventilateurs. — Conformément au désir exprimé par M. Hall, les ventilateurs Guibal se répandent de plus en plus dans les nouvelles exploitations, et atteignent des dimensions colossales. J'ai déjà parlé (page 45) de l'installation du Guibal au puits n° 4 de Bickershaw : en voici les dimensions :

Diamètre.	14m,50
Largeur.	3m,85

Le reste de l'aménagement n'est pas moins remarquable. Le ventilateur est actionné par une machine *compound* horizontale, dont les deux cylindres, sont situés de part et d'autre du ventilateur, leurs diamètres sont

respectivement de $0^m,56$ et $0^m,70$, leur longueur commune de $1^m,50$. Le cylindre à haute pression reçoit sa vapeur à une pression effective de $5^k,300$, la fait fonctionner avec détente Meyer, et la renvoie avec une pression de $3^k,300$ dans le second. Celui-ci n'a qu'un tiroir de distribution. L'exhaustion a lieu dans un condenseur à injection d'eau avec pompe verticale à simple effet. Les mécanismes de distribution sont extérieurs et placés sur les axes de contre-manivelles ; celui du grand cylindre porte en outre extérieurement un plateau manivelle sur lequel est articulée la bielle de la pompe à air.

Un appareil automatique inscrit à la fois la loi des dépressions et le nombre de révolutions de la machine. Il se compose essentiellement d'une horloge faisant faire à un disque de papier une révolution en vingt-quatre heures. Un crayon se meut le long du rayon vertical supérieur de ce disque : il est soutenu par un flotteur placé sur un manomètre à eau en relation avec le retour d'air. Limité à ceci, l'appareil enregistre la loi des dépressions. Un dispositif spécial (Pl. III, *fig.* 11), porté par l'arbre de la machine du ventilateur, établit tous les 250 tours, pendant un instant très court, la communication entre les deux branches du manomètre. Il en résulte qu'à chacune de ces époques, les deux niveaux s'égalisant, le flotteur s'abaisse et le crayon marque un cran profond dans la course, ce qui permet de compter le nombre de tours. Le dispositif qui établit la communication en question, se compose d'une transmission par un système successif de deux vis sans fin et de deux pignons dentés, faisant faire à un petit plateau vertical 1 tour pour 250 tours de la machine. Ce plateau porte une saillie excentrique qui, à chaque révolution, bute contre la queue d'un levier et ouvre une valve permettant l'admission de l'air dans la branche raréfiée.

Le puits n° 3 d'Abram Colliery possède un Guibal pres-

que aussi grand que le précédent; en voici les caractéristiques numériques :

Diamètre extérieur.	14 mètres.
Diamètre des ouïes..	4^m,25
Largeur.	3^m,65
Dépression produite.	0^m,076
Nombre de tours par minute. . .	45
Vitesse à la circonférence.	33 mètres.
Volume d'air par minute.	5500 m. cubes.

Au n° 4, les dimensions sont les mêmes, mais il est conduit plus lentement.

Une disposition très fréquente pour les machines de ventilateurs consiste à avoir deux machines horizontales se regardant et agissant séparément sur l'arbre moteur: elles marchent alternativement. Ici, chacune d'elles est une machine de Woolf, ayant ses deux cylindres en prolongement l'un de l'autre : leurs dimensions sont :

Diamètre du grand cylindre.	0^m,91
Diamètre du petit cylindre.	0^m,50
Course commune.	0^m,91

La distribution a lieu au moyen de tiroirs latéraux, et est commandée par deux excentriques dont les tiges traversent la chapelle des deux cylindres. La tige de détente ne porte pas de tiroir pour le grand cylindre, mais pour le petit, elle est muni d'un tiroir de détente Meyer. La machine est pourvue d'un condenseur, avec pompe verticale à simple effet. Cette machine, construite en 1881 par Walker et frères, est parfaitement silencieuse.

Plus fréquemment on emploie des machines horizontales, à un cylindre et à détente Meyer.

A Rainsford Colliery, près Saint-Helens est un ventilateur Schiele de 3^m,65 de diamètre, faisant 160 tours par minute et débitant 6.200 mètres cubes par minute, avec une dépression de 4 centimètres. Le ventilateur est

installé dans une cage en forme de colimaçon, l'air s'échappe sur toute la circonférence et est versé de là dans l'atmosphère.

On voit que cette dépression est moindre que celle d'un Guibal, qui elle-même est inférieure à celle qui donne un aérage par foyer. Comme de plus, le charbon qu'on brûle sur la grille du foyer ne coûte rien, on s'explique la faveur dont ces appareils primitifs jouissent encore dans le Lancashire, comme dans toute l'Angleterre.

Galeries d'aérage.—Le courant d'air est dirigé comme d'ordinaire, par des portes fermées avec un loquet ou une clef, munies ou non de guichets, par des toiles quelquefois doubles ou triples. Lorsque le remblai doit servir de cloison, on tend contre le muraillement, et à l'intérieur, une toile goudronnée (*lattice*) pour rendre les joints étanches. Une disposition particulière, nécessitée par la distribution du courant d'air en deux ou trois branches est la traversée de deux galeries d'aérage. Cette traversée ne peut se faire évidemment au même niveau ; il faut que l'une passe par-dessus l'autre au moyen d'un « *air-crossing* » ou « *air-bridge* » en bois, en maçonnerie ou en fer. Quelquefois, il n'y a entre les deux galeries que l'épaisseur du coffrage. Quand on veut augmenter la sécurité, on laisse 3 ou 4 mètres de terrain naturel entre deux.

Quand on perce une galerie pour préparer l'exploitation d'un quartier, on la sépare en deux parties par une cloison longitudinale de deux ou trois épaisseurs de briques cimentées, qui force le courant d'air à lécher le front de taille : on emploie aussi des canards en toile ; mais ces dispositions sont passagères, la loi interdisant de laisser entre deux voies d'air moins de 8 mètres de terrain ferme.

Quant à l'aérage particulier des travaux, il est indi-

qué par des flèches sur les croquis représentant les méthodes d'exploitation auxquels je renvoie.

Ainsi que je l'ai fait observer (page 35), la longueur des galeries d'aérage atteint parfois des proportions considérables, en voici quelques exemples :

Bardsley Colliery, près Alston under Lyne	1.980 mèt.
Blanscough Hall, à Coppull, près Chorley	2.200
Brunsopp Hall, à Westhoughton, près Bolton. . . .	2.350
Westleigh Colliery.	2.700
Outwood Colliery.	3.200
Clifton et Kearsley Colliery, à Clifton.	4.100
Pendleton Colliery, près Manchester.	4.200
Buttersworth Hall, près Rochdale.	4.550
Worsley Collieries.	5.500
Bank Hall, près Burnley.	6.470
Stonehill Colliery, près Bolton.	6.600
Rossendale et Baxenden Collieries.	8.250
Bradford Colliery, près Manchester.	12.870

Du grisou dans le Lancashire.

Dans le bassin du Lancashire, le district de Wigan est spécialement grisouteux : un certain nombre de couches, telles que « Arley Mine » et Wigan-9-feet ont acquis une triste célébrité par les accidents qui s'y sont produits. Il est vrai que ce sont celles qui sont exploitées à la plus grande profondeur. Bamfurlong et Abram sont les mines les plus grisouteuses du district de Wigan : dans la première, on entend le grisou sortir du charbon en sifflant ; et la flamme d'une lampe élevée au plafond des galeries, s'environne d'une auréole bleue qui remplit presque complètement le tamis.

Aux environs de Bolton, la « Trencherbone mine » la même que « Wigan-9-feet » est aussi très grisouteuse. A Outwood, on a rencontré en perçant le travers-bancs qui réunit les couches Doe et Trencherbone, un soufflard

de grisou qu'on a amené au jour par un tuyau de 0,05 centimètres de diamètre, et qui est resté allumé un an. Quelquefois le grisou se dégage encore subitement, non plus par une fente préexistante qu'on atteint dans les travaux, mais par une rupture subite qui se produit au toit ou au mur, sous l'influence de la pression du terrain environnant. Ces ruptures qui sont en général parallèles au front de taille, sont une conséquence de la méthode d'exploitation. Elles semblent dues aussi à la pression du grisou, et bien des faits donnent raison à cette opinion. Au-dessous de la couche Wigan-9-feet est une petite couche de charbon impur et grisouteux : on remarquait que le mur de la première se soulevait fréquemment pendant le déhouillement, et dégageait du grisou. On eut alors l'idée de drainer le grisou de la couche inférieure au moyen de trous verticaux forés de distance en distance le long du retour d'air de la « Wigan-9-feet. » Depuis lors, le mur cessa de se soulever.

L'accumulation du grisou dans les vieux travaux qui forment souvent une cloche d'où le gaz ne peut s'échapper, et la destruction trop facile des barrages, surtout des « air-crossings » qui sont nécessaires à la ventilation, donnent aux accidents une gravité exceptionnelle. (Voir plus bas la statistique.)

XI.

CHAUDIÈRES A VAPEUR.

Les générateurs à vapeur appartiennent presque tous au type dit « du Lancashire, » à cause de la vogue justifiée dont il jouit dans la région. Ce sont des chaudières cylindriques, de 9 à 10 mètres de long sur $1^m,80$ à $2^m,25$ de diamètre avec deux foyers intérieurs circulaires ou elliptiques. Une valve manœuvrée à l'aide d'une chaîne

à contrepoids permet de régler le tirage, qui est très considérable, en sorte qu'on peut brûler du menu sale. Extérieurement les chaudières sont souvent protégées par un revêtement en briques. Dans les installations soignées, les massifs de chaudières sont sous un bâtiment clos et couvert : le charbon est fourni à chaque générateur par une ouverture voûtée pratiquée dans le mur qui fait face au massif : l'intervalle est dallé de plaques de fonte.

La pression effective moyenne varie, suivant les machines à conduire, de 3 à 5k,500.

On vient d'installer à Abram Arley cinq chaudières construites par Barlow, de Rochdale, dont les foyers, cylindriques comme dans le type ordinaire, sont en tôle de fer ondulée, ce qui a pour but d'augmenter la solidité et la surface de chauffe. Ils sont de plus traversés par des tubes coniques dans toutes les directions, disposition qui augmente encore la solidité et permet un meilleur brassage des gaz. Cette modification augmente de 2.000 francs le prix des chaudières, qui varie de 10 à 12.000 francs. Elles ont 9 mètres de long et 2 mètres de diamètre.

La grille des foyers est constituée par des barreaux mobiles de 13 millimètres d'épaisseur environ, reposant sur des barres transversales. L'écartement des barreaux, égal à 1 centimètre, est fixé par trois saillies qu'ils présentent au centre et aux deux extrémités (Pl. III, *fig.* 12). La forme des barreaux permet également de les soulever autour d'une de leurs extrémités.

L'alimentation se fait quelquefois par un injecteur Giffard, plus habituellement par de petites pompes Cameron, ou bien par des pompes à traction directe et à piston plongeur vertical, ou enfin par des machines horizontales sans détente. Une disposition fréquente est la suivante : l'eau est refoulée dans une conduite générale

au niveau supérieur des chaudières, et de là est distribuée à chacune d'elles au moyen d'une valve régulatrice. Quelquefois, l'eau est refoulée auparavant dans un réservoir cylindrique vertical, où elle s'échauffe au contact de la vapeur d'échappement de la machine d'extraction.

L'installation des générateurs à vapeur souterrains demande quelques précautions relatives aux dangers d'incendie et d'explosion. Ils sont placés à proximité du foyer d'aérage, lorsqu'il y en a un, et environnés comme lui d'une gaine d'air frais entre le terrain naturel et la chambre en maçonnerie qui les renferme, ou le rampant qui conduit au dehors les gaz de la combustion. On tâche de les alimenter avec de l'air aussi peu grisouteux que possible.

XII.

TRIAGE, CRIBLAGE, LAVAGE DE LA HOUILLE.

Le charbon subit un premier triage dans l'intérieur de la mine, le gros et le menu sont chargés dans des wagonnets séparés ; le cannel coal, quand il y en a, est trié avec soin.

Au sortir du puits, le charbon est ordinairement versé par des culbuteurs à des grilles inclinées, qui le séparent en grosseurs de diverses catégories. A Outwood, on fait un triage sur quatre tables tournantes. A Rosebridge, la recette comprend huit verseurs qui servent le charbon à des grilles inclinées, et deux autres qui permettent de charger immédiatement dans des bateaux.

A Abram, le triage et le criblage se font comme plus haut : les grilles laissent passer le menu ; le gros s'y accumule, retenu par une porte à glissières verticales qu'on soulève à volonté. Il tombe de là sur une table

tournante de 4 mètres de diamètre. Deux trieuses examinent les morceaux qui passent devant elles, les cassent, jettent le schiste derrière elles et laissent le charbon. S'il est resté par mégarde quelques morceaux de cannel, elles les jettent au centre de la table : on les enlève avec une pelle et on les fait tomber dans un trou. Une râclette fixe fait tomber le charbon à l'extérieur. Ces tables tournantes, au nombre de huit, sont mues par une petite machine et peuvent être embrayées à volonté. Chaque appareil passe 250 tonnes en neuf heures de travail. Pour certaines catégories de charbon à vapeur (*steam-coal*), les tables sont munies de deux grilles superposées dont les barreaux ont respectivement 44 et 22 millimètres d'écartement.

A Abram Arley, les tables ont 5 mètres de diamètre : il n'y a pas de cannel coal à trier, mais on sépare avec soin le stérile, de manière à avoir un charbon domestique bien propre.

Le lavage des charbons est toujours très sommaire, et s'exécute au moyen de procédés assez primitifs. Cela tient à ce qu'il est relativement très pur, et n'a pas besoin d'un traitement compliqué.

Fabrication de coke à Pemberton. — A Pemberton est un atelier de fabrication de coke, avec triage, criblage et lavage préalable, dont voici l'installation complète.

Les wagonnets, amenés au jour, vont immédiatement à une plaque de pesage, à côté de laquelle est établie une cabine où le receveur lit le poids sur un cadran indicateur et l'inscrit sur un registre. De chaque côté des puits sont trois verseurs ou culbuteurs sur axe, au-dessous desquels sont des grilles inclinées à barreaux espacés de 28 millimètres. Le refus des grilles est transporté sur une courroie sans fin de 4 mètres de long environ,

jusqu'à des planches où se tiennent trois trieurs, qui rejettent le stérile.

Après quoi le charbon tombe dans un wagon : le niveau des rails étant de 3^{m},50 en contre-bas de celui du plancher.

Ce qui passe à travers les grilles est séparé en *noix* (*nuts*), et en *fin*. A cet effet, le charbon des trois grilles d'un même côté du puits tombe dans une auge où se meut une vis d'Archimède, qui l'amène dans une trémie. De là, une chaine à godets l'élève dans un bâtiment où se trouve un trommel, dont les trous ont 18 millimètres de diamètre, et qui donne les deux catégories susmentionnées. Les *noix* tombent directement dans un wagon ; le *fin* est amené dans une fosse. Il y a deux installations semblables, une de chaque côté du puits; mais la fosse qui reçoit le *fin* est commune à tout le charbon extrait par le puits.

De cette fosse, le menu est élevé par une nouvelle chaine à godets en tête des appareils de transport et de lavage. L'appareil de transport se compose de deux conduits inclinés, à section rectangulaire, traversés par un courant d'eau. L'appareil de lavage se compose simplement de quatre conduits inclinés, d'une section plus large, sur le fond desquels on travaille avec des râbles. Pour expulser le stérile, on ouvre des trappes placées sur la moitié inférieure du canal, et un robinet placé en tête de celui-ci envoie un torrent d'eau : le bon charbon s'en va jusqu'au bout du canal, tombe avec l'eau sur une tôle perforée qui sépare l'eau et le schlamm. Celui-ci se rend dans de longs canaux de dépôt, puis dans des citernes, après quoi, l'eau rentre dans le traitement.

La partie grenue séparée par la tôle est poussée par une roue à palettes, et tombe sur un transporteur sans fin. Dans ce trajet, la partie la plus fine est séparée et

tombe dans la fosse de charbon à cuire. La partie la plus grosse arrive sur la plate-forme d'un broyeur à roues de fonte : la plate-forme en tôle d'acier est percée de trous oblongs : ce qui est broyé tombe dans la fosse susdite. Tout le charbon à cuire est repris dans cette fosse par une chaîne à godets et élevé dans une trémie au pied de laquelle viennent se charger les wagonnets entonnoirs qui circulent sur les massifs de fours à coke. La capacité de ces wagonnets est 1 tonne et demie.

Les fours à coke au nombre de 120 sont des fours à boulanger, ronds, de $3^{m},30$ de diamètre, se chargeant par un trou à la voûte : ils sont rangés sur une double ligne, et ont un conduit pour l'utilisation des gaz brûlés. Le chargement de chaque four est de 6 tonnes, la cuisson dure quatre ou cinq jours. Le rendement est de 56 p. 100 en coke métallurgique. On éteint à l'eau dans le four, et on décharge avec des ringards, à la main. La production journalière est de 100 tonnes.

XIII.

ÉCLAIRAGE.

Dans les couches non grisouteuses, on ne se sert que de feux nus, chandelles, lampes à huile et à essence, etc. On s'en sert aussi dans des mines un peu grisouteuses, où la prudence commanderait d'employer des lampes de sûreté. Mais on est habitué à cette tolérance, et il faudrait de graves catastrophes pour vaincre la routine. Les inspecteurs s'élèvent avec force contre une pratique si dangereuse. On leur objecte que les lampes de sûreté donnent une lumière insuffisante, qu'avec elles les accidents par éboulement sont bien plus nombreux, qu'elles endorment la surveillance, etc.

Dans les couches franchement grisouteuses, l'emploi

de la lampe de sûreté est obligatoire. La lampe la plus usitée est celle de Davy, plus ou moins modifiée. Les tamis sont en fil de fer de 1/3 de millimètre de diamètre ; il y a 11 fils par centimètre linéaire. Les lampes sont souvent fermées par des rivets de plomb sur les têtes desquels on imprime au moment de la fermeture certaines initiales. Dans certaines mines, où le courant d'air est rapide, on munit les lampes d'un « *shield* » sorte de demi-cylindre en cuivre qui entoure la lampe sur la moitié de son périmètre et la moitié de sa hauteur. On emploie aussi une enveloppe de verre avec armatures d'étain (*tin can Davy lamp*), qui entoure la lampe sur les deux tiers du périmètre et sur toute la hauteur. Enfin, quelques directeurs de houillères ont adopté la lampe Mueseler. D'après M. Hall, on a beaucoup discuté l'année dernière (1882), pour trouver des moyens plus sûrs d'éclairer les mines que la lampe Davy ordinaire ou la Clanny. La commission royale des mines a fait un rapport préliminaire condamnant la lampe Davy, mais ce rapport ne donne aucune conclusion, quant à celle qu'il conviendrait de lui substituer. Les directeurs sont alors naturellement fort embarrassés ; quelque bonne volonté qu'ils aient pour se ranger aux idées de la commission, on ne peut leur demander de s'engager dans les dépenses d'achat d'une autre lampe, qui sera peut-être condamnée quand on publiera la fin du rapport. A l'enquête Abram (voir plus bas page 94), cette question a été très agitée, et l'opinion de connaisseurs autorisés, comme MM. Bryham, Greenwell, Higson, a été que la lampe Davy avait été cause de l'accident d'Abram. Ils émettaient le vœu que la lampe fût changée ; c'est ce qu'on a fait : la lampe Mueseler, avec fermeture à rivet de plomb est maintenant employée par les ouvriers, et la tin can Davy lamp par les « *officers* » de la mine.

On ne s'étonnera pas, après cela, qu'une même mine

emploie plusieurs types de lampes de sûreté, concurremment. Il arrive souvent aussi, même lorsque les couches communiquent entre elles, qu'on emploie des lampes de sûreté dans celles qui donnent du grisou, et des lampes à feu nu dans les autres. Le mélange peut avoir lieu jusque dans l'intérieur de la même couche. Certains quartiers doivent néanmoins rester interdits aux lampes à feu nu. Les limites de circulation de celles-ci sont alors indiquées par des pancartes blanches, ou des feux rouges.

Les lampes sont habituellement emportées par les ouvriers qui les entretiennent et les garnissent chez eux; lorsqu'ils redescendent dans la mine, elles sont examinées par un contremaître qui constate si elles sont en bon état, et si elles sont bien fermées. Quelquefois, l'ouvrier laisse le réservoir d'huile à la mine, et n'emporte que la partie supérieure. A la base de presque tous les puits est une cabine spéciale, dite *lamp station*, où on visite, entretient, rallume, et même répare les lampes. Il n'est jamais besoin d'envoyer au jour les lampes éteintes pour les rallumer.

XIV.

TRAVAIL ET SURVEILLANCE.

Les hommes descendent généralement à six heures et commencent à remonter à quatre heures : ils doivent fournir de neuf heures à neuf heures et demie de travail effectif. Dans quelques mines, ils peuvent rester plus tard s'ils le désirent. Le samedi, ils sortent vers une heure; et le lundi de la paye, ils sont fréquemment absents. Il y a un poste de nuit pour les réparations, le boisage, le remblayage, etc. : il dure aussi longtemps que le poste de jour.

Les piqueurs sont associés deux par deux ou trois par trois dans un chantier ; ils remplissent de 10 à 20 wagonnets de 1/2 tonne par jour. Ils sont payés à la tâche, suivant le gros et le menu qu'ils abattent. Les remblayeurs sont payés à la tâche ou à la journée. Le prix moyen des salaires varie de 3 à 7 francs par jour.

La surveillance est exercée par un directeur ou « manager » pourvu d'un certificat délivré par l'administration, et qui est souvent à la tête de trois ou quatre charbonnages. D'après les règlements particuliers au Lancashire, le « manager » a la surveillance générale du fond et de la surface; il doit aviser aux moyens assurant l'exécution de la loi. C'est lui qui ordonne l'emploi des lampes de sûreté et qui désigne le « *lampman*, » c'est-à-dire celui qui est chargé de les examiner. Au-dessous de lui sont « *l'underlooker* » ou sous-gouverneur, et les « *firemen* » ou chefs de poste. Un *fireman* a sous sa surveillance de vingt-cinq à quarante-cinq hommes pendant le jour, de quinze à vingt-cinq pendant la nuit. Les *firemen* descendent avant les ouvriers, visitent les chantiers, examinent spécialement les organes essentiels de la ventilation : en un mot, ils sont chargés surtout de ce qui intéresse la sécurité. Après leurs visites, ils laissent une marque dans les chantiers qu'ils ont trouvé en bon état : sinon, ils en barrent l'entrée et y placent des affiches. Les *overmen* et *firemen* sont les « *officers* » de la mine : ils ont, à proximité de la base du puits, une cabine où sont déposés les plans et les registres, où ils changent de costume et de lampe, s'il y a lieu, et où ils font entrer tout d'abord pendant quelques minutes les visiteurs afin de les habituer à l'obscurité.

Parmi les prescriptions spéciales aux ouvriers, on peut citer :

L'interdiction d'entrer dans un chantier où l'on sait qu'il y a du grisou, d'allumer un soufflard sans autorisa-

tion, d'avoir du tabac ou des pipes dans les mines grisouteuses où la lampe de sûreté est obligatoire.

L'obligation de rester au poste qui leur a été assigné; d'effacer la marque de la visite du fireman ; d'arrêter leur travail et de prévenir s'ils trouvent que la ventilation est insuffisante au chantier; d'étendre les lampes de sûreté, s'il leur survient une avarie, si le tamis se tache d'huile ou de poussière; de les porter au « *lampman* » quand elles s'éteignent, de ne pas laisser de feu dans un chantier, à moins qu'il n'y ait quelqu'un ; d'examiner après le tirage de chaque coup de mine, le chantier à la lampe de sûreté, quand même on ferait usage des lampes à feu nu, etc., etc.

XV.

STATISTIQUE.

Production.

Au point de vue administratif, le bassin du Lancashire est divisé en deux inspections, celle du Lancashire Ouest ou de Liverpool, et celle du Lancashire Nord-Est ou de Manchester. La partie du bassin qui est située dans le Cheshire appartient à une troisième inspection, celle du Nord-Staffordshire. Chaque année, les directeurs des charbonnages envoient aux inspecteurs des mines leur statistique détaillée, et ceux-ci publient les résultats d'ensemble de leur circonscription.

Le nombre des charbonnages en exploitation se répartit comme il suit :

Lancashire Ouest.	165
Lancashire Nord et Est	300
Cheshire.	34
Total.	499

Je donne à la page suivante le tableau de la production et du nombre des ouvriers occupés pendant l'année 1881.

Des chiffres de ce tableau il résulte que l'extraction par homme est de 300 tonnes pour le Lancashire comme pour toute l'Angleterre, la production de ce bassin étant 1/8 de la production totale du Royaume-Uni.

Si pour comparer la production du Lancashire à celle de la France et des autres bassins houillers anglais, on prend pour unité la production de la France, soit environ 19 millions de tonnes, on trouve le résultat suivant qui est très approché.

Production de l'Écosse		1
—	Bassin du nord (Durham et Cumberlaud)	2
—	Yorkshire	1
—	Lancashire	1
—	Sud du Pays de Galles et district de Bristol	1
—	Nord du Pays de Galles et Staffordshire	1
—	Centre (Derbyshire, Notts, etc.)	1
	Total de la production de l'Angleterre	8

Je regrette de ne pouvoir donner de renseignements précis sur les prix de revient ou de vente. Je dirai seulement que les frais d'extraction d'une tonne de houille dans les meilleures conditions, ne dépassent pas 4 à 5 francs. Quant à la valeur commerciale créée, elle est également fort difficile à apprécier, à cause des variations du prix de la houille, suivant les exigences de l'industrie. D'une manière générale les prix sont très bas à cause de l'intensité de la production, et plus d'une houillère est encombrée de stocks de charbons.

Production du Lancashire en 1881.

NOMS DES DISTRICTS.	NOMBRE D'OUVRIERS EMPLOYÉS													QUANTITÉ DE HOUILLE EXTRAITE en tonnes.	ARGILE RÉFRACTAIRE.	MINERAIS DE FER des houillères.	SCHISTE ALUMINEUX.
	AU FOND.					AU JOUR.							Total général.				
	Garçons.			Hommes au-dessus de 16 ans.	Total du fond.	De 10 à 13 ans.		De 13 à 16 ans.		Au-dessus de 16 ans.		Total du jour.					
	De 10 à 12 ans.	e 12 à 13 ans	De 13 à 16 ans.			Garçons.	Filles	Garçons.	Filles.	Hommes.	Femmes.						
Lancashire Nord et Est. . . .	190	401	2.289	23.394	26.274	98	»	311	3	4.745	242	5.399	31.673	9.326.722	100.876	»	4.950
Lancashire Ouest.	»	263	1.775	21.342	23.380	16	»	378	102	4.349	1.229	6.074	29.454	9.173.088	23.074	1.941	»
Cheshire.	»	25	176	1.829	2.030	11	»	44	»	477	»	532	2.562	782.000	5 500	»	»
Total pour le bassin, 1881. .	190	689	4,240	46.565	51.684	125	»	433	105	9.571	1.471	12.005	63.689	19.281.810	129.400	1.941	4.950
Total pour l'Angleterre, 1881.	404	3.936	36.393	358.654	399 387	438	2	7.570	353	83 367	4.360	96.000	495.477	154.184.300	1.896.907	11.838.766	1.019.958
Id. 1880.	428	4.868	36.162	349.923	391.381	552	10	7.037	354	81 823	4.276	93.552	484.933	146.969.409	1.936.539	11.664.726	894.119

Accidents.

Voici maintenant le relevé des accidents pour l'année 1881.

NATURE DES ACCIDENTS.	ACCIDENTS suivis de mort.	ACCIDENTS non suivis de mort.	TUÉS.	BLESSÉS.
Explosions de grisou. . .	9	14	55	52
Éboulements.	27	75	72	77
Accidents dans les puits.	10	11	16	15
Divers. . . . { au jour. . .	3	11	12	17
Divers. . . . { au fond. . .	10	44	20	50
Totaux.	59	155	175	211

L'explosion de grisou la plus importante a été celle d'Abram, survenue le 19 décembre 1881, qui fit 48 victimes. J'en dirai quelques mots, en suivant d'aussi près que possible le rapport de l'inspecteur des mines, M. Hall. L'accident est survenu dans la couche Yard Mine ou Haigh yard seam qu'on exploite par la méthode du *long wall*. Les lampes de sûreté y sont obligatoires, et l'usage de la poudre est interdit. Il n'y a guère que trois ans que les puits ont atteint cette couche, en sorte que les travaux y sont peu développés : ils s'étendent à l'ouest sur 200 mètres et à l'est sur 400 mètres environ. Au moment de l'explosion, le ventilateur faisait 37 tours et débitait 2.200 mètres cubes par minute. Le nombre des travailleurs était de 75 dans la couche Yard Mine et de 100 environ dans la couche inférieure (Arley Mine). A l'enquête, tous les témoignages, au nombre de plus de 80, ont été unanimes pour fixer le point où le grisou s'est allumé à l'avancement ouest: le dégagement de gaz s'est produit sans doute par l'écrasement d'une face du *long wall*, et, d'après les dépositions des témoins, le mélange inflammable a été allumé par une lampe Davy,

soit qu'elle fût avariée, soit que, sous l'influence du courant d'air, la flamme fût sortie du tamis. Aussitôt après l'explosion, le sauvetage, rendu très périlleux par les incendies qu'avait allumés le grisou, et par les éboulements, commença. On se servit avec succès des extincteurs dont l'usage est si répandu en Angleterre, et on parvint à retirer tous les mineurs encore vivants: 43 avaient été tués sur le coup et 5 moururent de leurs blessures.

M. Hall estime que le *manager* n'a rien à se reprocher et que les diverses recommandations étaient mises en pratique. Il attribue la catastrophe à l'emploi des lampes Davy, et demande qu'on les remplace par des lampes Mueseler. Après une enquête fort longue, le jury rendit enfin son verdict et exprima l'opinion qu'il y avait eu de grands relâchements dans les précautions à prendre pour rallumer et fermer les lampes, que l'aérage était d'ailleurs suffisant, mais qu'il convenait de substituer les cloisons en briques aux barrages en toile goudronnée.

La statistique précédente accuse 1 homme tué pour 361.

En Angleterre la proportion est de 1 pour 587. Enfin on compte : dans le Lancashire 1 homme tué pour 110.181 tonnes de houille extraites, en Angleterre 1 homme tué pour 132.948 tonnes de houille extraites.

La proportion des tués est donc plus forte dans le Lancashire que dans le reste de l'Angleterre.

CONCLUSION.

Je crois inutile de répéter ici les caractères des exploitations du Lancashire; j'ai assez insisté sur la grandeur et parfois le luxe des installations ; mais, quelle qu'en

soit la magnificence, on peut dire qu'elle n'a jamais pour but la satisfaction de la vanité ou le plaisir des yeux. Tout est calculé pour utiliser le mieux possible les richesses naturelles contenues dans le sol.

Je terminerai simplement en examinant une question capitale pour les charbonnages du Lancashire, et qui intéresse d'ailleurs toute l'Angleterre. Combien durera encore l'exploitation des mines du Lancashire?

M. Hall a répondu à cette question en laissant de côté dans son estimation les couches dont la puissance est inférieure à $0^{m},60$, ou dont la profondeur excède 1.200 mètres. Il arrive aussi à un total de 4 milliards de tonnes. En partant de l'extraction actuelle qui est d'environ 20 millions de tonne, et en supposant qu'elle augmente de 200.000 tonnes par an, cette réserve ne serait pas épuisée avant 125 ans.

Le résultat de M. Dickinson est encore plus favorable. Il s'arrête aussi à la profondeur de 1.200 mètres, mais il comprend toutes les couches dont la puissance est supérieure à $0^{m},30$. Dans ces conditions, il arrive à un total de 5.305 millions de tonnes, avec lesquelles en faisant les mêmes conventions que tout à l'heure, on pourra encore attendre 152 ans.

Si avec cela l'on compte que le perfectionnement des engins mécaniques permettra d'exploiter plus tard à des profondeurs plus grandes que 1.200 mètres, on voit qu'un long avenir de prospérité est encore réservé à cette région.

TABLE DES MATIÈRES.

STATISTIQUE
de l'Industrie minérale de la France.

TABLEAUX COMPARATIFS DE LA PRODUCTION DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX, DES FONTES, FERS ET ACIERS, EN 1882 ET EN 1883 (*).

I. — Combustibles minéraux.

PRODUCTION PAR DÉPARTEMENT.

DÉPARTEMENTS.	NATURE DU COMBUSTIBLE.	PRODUITS. 1882.	PRODUITS. 1883.
		tonnes.	tonnes.
Ain	Lignite	13	30
Allier	Houille	965.176	965.396
Alpes (Basses-)	Lignite	43.041	36.848
Alpes (Hautes-)	Anthracite	6.341	6.780
Ardèche	Houille et anthracite	26.201	32.824
	Lignite	1.648	1.190
Aude	Idem	306	321
Aveyron	Houille	796.033	826.217
	Lignite	8.767	6.648
Bouches-du-Rhône	Idem	456.563	472.456
Cantal	Houille	9.224	42.463
Corrèze	Idem	4.617	3.901
Côte-d'Or	Houille et anthracite	10.133	8.850
Creuse	Idem	138.443	178.995
Dordogne	Lignite	1.975	1.800
Drôme	Idem	166	112
Gard	Houille	1.903.516	1.991.624
	Lignite	17.596	13.686
Hérault	Houille et anthracite	287.151	315.720
	Lignite	471	381
Isère	Anthracite	115.507	134.010
	Lignite	1.294	1.020
Jura	Idem	»	424
Loire	Houille et anthracite	3.571.123	3.598.958
Loire (Haute-)	Houille	240.947	229.983
Loire-Inférieure	Anthracite	18.437	19.243
Lot	Houille	2.020	1.623
Maine-et-Loire	Anthracite	30.788	36.070
Mayenne	Idem	77.141	69.944
Nièvre	Houille	201.161	194.306
Nord	Houille et anthracite	3.777.630	3.903.212
Pas-de-Calais	Houille	5.706.891	6.148.249
Puy-de-Dôme	Houille et anthracite	189.206	208.243
Pyrénées-Orientales	Lignite	1.770	1.783
Rhône	Houille	36.612	39.577
Saône (Haute-)	Idem	199.841	202.098
	Lignite	9.114	9.580
Saône-et-Loire	Houille et anthracite	1.288.830	1.332.461
Sarthe	Anthracite	21.523	17.736
Savoie	Idem	16.937	19.821
Savoie (Haute-)	Idem	»	90
	Lignite	1.003	244
Sèvres (Deux-)	Houille	21.800	20.784
Tarn	Idem	365.060	325.480
Var	Houille et anthracite	800	150
	Lignite	2.518	2.246
Vaucluse	Idem	10.003	9.766
Vendée	Houille	18.213	17.294
Vosges	Lignite	663	1.077
Récapitulation	Houille et anthracite	20.046.796	20.887.092
	Lignite	556.908	559.107
	Totaux	20.603.704	21.446.199
Augmentation			842.495

(*) Ces tableaux ont été publiés, par ordre de M. le Ministre des Travaux publics, au *Journal Officiel* du 11 Mars 1884. Les chiffres concernant l'année 1883 sont extraits des états *semestriels* fournis par les Ingénieurs des mines et, par suite, *provisoires*; tandis que la statistique de 1882, résultant du dépouillement des états *annuels*, contient des chiffres *définitifs*.

PRODUCTION PAR BASSIN.

GROUPES GÉOGRAPHIQUES DE BASSINS.	PRODUITS. 1882	PRODUITS. 1883	BASSINS ÉLÉMENTAIRES (1).	DÉPARTEMENTS OÙ LES BASSINS SONT SITUÉS.	PRODUITS. 1882	PRODUITS. 1883
	tonnes.	tonnes.			tonnes.	tonnes.
I. — Houille et Anthracite.						
Nord et Pas-de-Calais.	9.484.021	10.051.461	Valenciennes	Nord, Pas-de-Calais	9.429.303	9.990.245
			Le Boulonnais (Hardinghen)	Pas-de-Calais	54.718	61.216
Loire	3.620.550	3.651.860	St-Etienne (et Rive-de-Gier)	Loire	3.568.234	3.596.663
			Sainte-Foy l'Argentière	Rhône	36.112	39.577
			Communay	Isère	12.815	13.330
			Le Roannais (Roanne)	Loire	3.389	2.290
Gard	1.929.717	2.024.448	Alais	Gard, Ardèche	1.913.532	2.003.865
			Le Vigan	Gard	8.855	13.261
			Aubenas	Ardèche	7.330	7.322
Bourgogne et Nivernais	1.543.508	1.585.173	Creusot et Blanzy	Saône-et-Loire	1.132.149	1.167.663
			Decize	Nièvre	201.161	194.306
			Epinac et Aubigny-la-Ronce	Saône-et-Loire, Côte-d'Or	130.689	136.414
			Bert	Allier	43.384	49.556
			La Chapelle-sous-Dun	Saône-et-Loire	25.992	28.534
			Sincey, *Forges*	Côte-d'Or, *Saône-et-Loire*	10.133	8.700
Tarn et Aveyron	1.163.113	1.153.320	Aubin	Aveyron	780.218	810.397
			Carmaux	Tarn	365.060	325.480
			Rodez	Aveyron	15.815	15.820
			Saint-Perdoux	Lot	2.020	1.623
Bourbonnais	1.044.764	1.050.786	Commentry (et Doyet)	Allier	888.010	884.863
			Saint-Eloy	Puy-de-Dôme	122.978	134.946
			L'Aumance (Buxière-la-Grue)	Allier	33.244	29.006
			La Queune (Fins et Noyant)	Allier	532	1.971
Auvergne	316.399	340.743	Brassac	Haute-Loire, Puy-de-Dôme	267.336	252.473
			Champagnac et Bourg-Lastic	Cantal, Puy-de-Dôme	24.792	59.014
			Langeac	Haute-Loire	24.271	29.256
Hérault	287.151	315.720	Graissessac, *Roujan*	Hérault	287.151	315.720
Vosges méridionales	199.841	202.093	Ronchamp	Haute-Saône	199.841	202.093
			Le Maine	Mayenne, Sarthe	98.664	87.680
			Basse-Loire	Loire-Infre, Maine-et-Loire	49.225	55.313

			Saint-Pierre-La-Cour	*Mayenne*	»	»
			Le Cotentin (*Littry, le Plessis*)	*Calvados, Manche*	»	»
Creuse et Corrèze	143.060	182.896	Ahun	Creuse	137.410	176.284
			Cublac (Terrasson), Meymac et Argentat	Corrèze, *Dordogne*	4.617	3.901
			Bourganeuf	Creuse	1.033	2.711
Alpes occidentales	125.970	147.371	Le Drac (La Mure)	Isère	102.112	120.090
			Maurienne-Tarent[se] et Briançon	Hautes-Alpes, Savoie	23.278	26.601
			L'Oisans et *le Graisivaudan*	Isère	580	590
			Chablais et Faucigny	Haute-Savoie	"	90
Maures	800	150	Les Maures (Fréjus)	Var, *Alpes-Maritimes*	800	150
Pyrénées	»	»	*Ibantelly, Durban et Ségur*	*Basses-Pyrénées, Aude*	"	»
Totaux pour les houilles	20.046.796	20.887.092			20.046.796	20.887.092

II. — Lignite.

Provence	502.119	511.050	Le Fuveau (Aix)	Bouches-du-Rhône, Var	457.551	473.069
			Manosque	Basses-Alpes, *Vaucluse*	43.041	36.348
			La Cadière	Var	1.527	1.633
Comtat	28.313	24.456	Bagnols, Orange, Banc-Rouge, *Vagnas*	Ardèche, Gard, Vaucluse	23.464	19.905
			Méthamis	Vaucluse	3.239	2.406
			Barjac et Célas	Gard	1.610	2.145
			Montoulieu	*Hérault*	»	»
Sud-Ouest	14.223	11.114	Millau (et Trévezel)	Aveyron, Gard	9.701	6.829
			Simeyrols et la Chap.-Péchaud	Dordogne	1.975	1.800
			Estavar, *Orignac, SaintLon, Larquier*	Pyrénées-Orientales, *Hautes-Pyrénées, Landes*	1.770	1.783
			La Caunette	Aude, Hérault	777	702
Vosges méridionales	9.777	10.657	Gouhenans, *Gémonval*	Haute-Saône	9.114	9.580
			Norroy	Vosges	663	1.077
Haut-Rhône	2.476	1.830	La Tour-du-Pin	Isère	1.294	1.020
			Douvres	Ain	13	454
			Entrevernes et *Chambéry*	Haute-Savoie, *Savoie*	1.003	244
			Hauterives (Montélimar)	Drôme	166	112
Totaux pour les lignites	556.908	559.107			556.908	559.107
Totaux généraux	20.603.704	21.446.199			20.603.704	21.446.199

(1) Les bassins dont les mines n'ont pas été exploitées dans l'année et les départements correspondants ont leurs noms en *italiques*.

II. — Industrie sidérurgique.

PRODUCTION DES FONTES.

DÉPARTEMENTS.	DÉSIGNATION de LA FONTE suivant la nature du combustible.	1882 FONTES d'affinage.	1882 FONTES de moulage ou moulée en 1re fusion.	1882 PRODUCTION totale	1883 FONTES d'affinage.	1883 FONTES de moulage ou moulée en 1re fusion.	1883 PRODUCTION totale.
		tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Allier	Au coke	76.246	14.261	90.507	68.660	13.911	82.571
Ardèche	Au coke	79.747	23.569	103.316	61.450	19.257	80.707
Ardennes	Au coke	21.400	»	22.258	20.200	110	20.687
	Au bois	442	416		197	180	
Ariège	Au coke	22.150	»	22.150	21.673	»	21.673
Aveyron	Au coke	32.846	542	33.388	28.155	»	28.155
Bouches-du-Rhône	Au coke	24.422	1.317	25.739	17.816	1.852	19.668
Cher	Au coke	»	3.680	17.959	»	5.830	18.943
	Au bois	4.722	»		4.043	»	
	Mixte	»	9.957		»	9.070	
Corse	Au bois	5.186	»	5.186	5.556	»	5.556
Dordogne	Au bois	545	»	545	1.100	»	1.100
Doubs	Au bois	1.852	345	2.197	1.800	550	2.350
Eure	Au coke	434	197	631	»	190	190
Gard	Au coke	138.207	6.611	144.818	125.826	9.876	131.702
Gironde	Au bois	730	800	1.530	850	1.300	2.150
Hérault	Au coke	7.500	6.900	14.400	5.668	8.228	13.896
Ille-et-Vilaine	Au bois	»	1.607	1.607	»	1.000	1.000
Indre	Au bois	513	»	513	1.187	»	1.187
Isère	Au coke	36.349	808	38.763	27.940	723	29.589
	Au bois	780	71		246	58	
	Mixte	750	5		617	5	
Landes	Au coke	»	»	18.474	13.620	»	32.697
	Au bois	10.144	8.330		13.930	5.147	

Loire	Au coke	58.543	4	58.547	62.365	31	62.396
Loire-Inférieure	Au coke	14.128	3.093	17.727	35.579	»	35.863
	Au bois	506	»		284	»	
Lot-et-Garonne	Au coke	447	16.055	17.310	195	16.210	17.355
	Au bois	808	»		950	»	
Marne	Au coke	»	2.669	2.669	»	654	654
Marne (Haute-)	Au coke	18.942	27.068	82.865	14.014	20.000	61.089
	Au bois	4.153	»		4.580	»	
	Mixte	16.886	15.816		11.525	10.970	
Meurthe-et-Moselle	Au coke	492.507	221.958	716.043	533.132	249.934	783.066
	Au bois	1.578	»		»	»	
Meuse	Au coke	2.442	6.437	9.767	2.628	7.837	11.406
	Mixte	»	888		»	941	
Nord	Au coke	206.246	49.076	255.322	203.432	50.832	254.264
Pas-de-Calais	Au coke	35.182	17.944	53.126	68.506	18.195	86.701
Pyrénées-Orientales	Au coke	993	»	7.576	523	»	7.013
	Au bois	6.583	»		6.490	»	
Rhône	Au coke	89.437	»	89.437	162.016	»	162.016
Saône (Haute-)	Au bois	3.610	999	4.609	2.984	571	3.555
Saône-et-Loire	Au coke	177.469	271	177.740	159.904	558	160.462
Savoie	Au bois	443	»	443	»		»
Tarn	Au coke	1.881	24	1.905	6.697	150	6.847
Vaucluse	Au bois	»	»	»	565	314	879
Récapitulation	Au coke	1.537.518	402.484	1.940.002	1.559.999	420.378	1.980.377
	Au bois	42.595	12.568	55.163	44.762	9.120	53.882
	Mixte	17.636	26.266	43.902	12.142	20.986	33.128
Totaux		1.597.749	441.318	2.039.067	1.616.903	450.484	2.067.387
Augmentations					19.154	9.166	28.320

DÉPARTEMENTS.	DÉSIGNATION DU FER SUIVANT SON MODE D'ÉLABORATION.	1882 RAILS.	1882 FERS marchands et spéciaux.	1882 TÔLES.	1882 PRODUCTION totale.	1883 RAILS.	1883 FERS marchands et spéciaux.	1883 TÔLES.	1883 PRODUCTION totale.
		tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Aisne	Puddlé	»	»	767	767	»	»	926	926
Allier	Idem	1.906	25.021	11.451	38.378	2.126	20.507	9.377	32.010
	Puddlé	70	48.863	18.128		»	46.282	19.026	
Ardennes	Affiné au charbon de bois	»	112	»	79.961	»	91	»	76.577
	Obtenu par réchauffage de vieux fers et riblons	»	5.154	7.634		»	4.356	6.822	
Ariège	Puddlé	»	16.247	»	16.537	»	16.494	»	16.723
	Affiné au charbon de bois	»	290	»		»	229	»	
Aube	Puddlé	»	5.114	»	7.329	»	4.983	»	6.873
	Affiné au charbon de bois	»	2.215	»		»	1.890	»	
Aveyron	Puddlé	1.819	14.123	4.044	19.986	839	12.711	2.678	16.228
Bouches-du-Rhône	Puddlé	»	172	»	1.567	»	324	»	1.627
	Obtenu par réchauffage de vieux fers et riblons	»	1.395	»		»	1.303	»	
Charente	Puddlé	»	300	»	400	»	»	»	»
	Affiné au charbon de bois	»	100	»		»	»	»	
Cher	Affiné au charbon de bois	»	570	»	570	»	900	»	900
Corse	Obtenu par réchauffage de vieux fers et riblons	»	128	»	128	»	73	»	73
	Puddlé	»	11.808	»		»	7.745	»	
Côte-d'Or	Affiné au charbon de bois	»	»	23	13.271	»	3.215	»	12.410
	Obtenu par réchauffage de vieux fers et riblons	»	1.440	»		»	»	1.450	
Côtes-du-Nord	Puddlé	»	4.518	»	4.518	»	3.010	»	4.280
	Obt. par réchauff. de vieilles fontes et ferrailles	»	»	»		»	1.270	»	
	Puddlé	»	400	»		»	1.000	»	
Dordogne	Affiné au charbon de bois	»	2.075	»	2.475	»	1.675	»	2.875
	Obtenu par réchauffage de vieux fers et riblons	»	»	»		»	200	»	
	Puddlé	»	94	»		»	»	105	
Doubs	Affiné au charbon de bois	»	8.087	3.325	13.163	»	8.100	3.360	13.135
	Obt. par réch. de vieux fers, massiaux et largets	»	1.178	479		»	1.080	490	
Gard	Puddlé	548	27.368	»	27.916	962	21.927	»	22.889

Garonne (Haute-).	Affiné au charbon de bois	»	3.320	»	3.320	»	870	»	3.120
	Obtenu par réchauffage de vieux fers et riblons	»	»	»		»	2.250	»	
	Puddlé	»	2.050	»		»	700	»	
Gironde	Affiné au charbon de bois	»	579	»	2.790	»	750	»	1.450
	Obtenu par réchauffage de vieux fers	»	161	»		»	»	»	
Ille-et-Vilaine	Idem	»	250	»	250	»	245	»	245
Indre	Affiné au charbon de bois	»	649	»	649	»	520	»	520
	Puddlé	»	11.118	1.200		»	7.472	493	
Isère	Affiné au charbon de bois	»	45	»	14.833	»	»	»	10.741
	Obtenu par réchauffage de vieux fers	»	2.470	»		»	2.776	»	
	Puddlé	72	9.955	6.396		»	9.950	6.190	
Jura	Affiné au charbon de bois	»	321	468	24.927	»	300	430	24.220
	Obtenu par réchauff. de vieux fers et massiaux	»	4.894	2.821		»	4.450	2.990	
Landes	Puddlé	»	511	»	2.368	»	220	»	2.327
	Affiné au charbon de bois	»	1.857	»		»	2.107	»	
Loire-et-Cher	Obtenu par réchauffage de riblons	»	75	»	75	»	77	»	77
Loire	Puddlé	104	58.388	20.865	84.280	51	51.280	17.766	73.765
	Obtenu par réchauffage de vieux fers et riblons	»	4.923	»		»	4.668	»	
Loire-Inférieure	Puddlé	»	9.139	933	12.947	14	11.269	2.598	16.843
	Obtenu par réchauffage de vieux fers	»	2.875	»		»	2.962	»	
Lot-et-Garonne	Affiné au charbon de bois	»	30	»	30	»	»	»	»
Maine-et-Loire	Puddlé	»	105	»	105	»	»	»	50
	Obtenu par réchauffage de vieux fers	»	»	»		»	50	»	
	Puddlé	»	82.601	6.206		»	57.500	4.500	
Marne (Haute-)	Affiné au charbon de bois	»	88	»	90.773	»	54	»	62.774
	Obtenu par réchauffage de vieux fers	»	1.792	86		»	700	20	
	Puddlé	»	38.455	9.808		»	39.230	10.160	
Meurthe-et-Moselle	Affiné au charbon de bois	»	»	»	49.111	»	164	»	49.733
	Obtenu par réchauffage de vieux fers	»	848	»		»	179	»	
Meuse	Puddlé	»	19.353	250	20.103	»	19.473	»	20.323
	Obtenu par réchauffage de vieux fers et scories	»	500	»		»	850	»	
	Puddlé	»	»	3.644		»	»	4.463	
Morbihan	Affiné au charbon de bois	»	»	1.998	6.200	»	»	1.440	7.031
	Obtenu par réchauffage de vieux fers	»	»	558		»	»	1.128	
	Puddlé	231	17.376	»		62	16.926	»	
Nièvre	Affiné au charbon de bois	»	2.302	351	20.373	»	1.630	227	18.924
	Obtenu par réchauffage de vieux fers et riblons	»	63	»		»	79	»	

PRODUCTION DES FERS (*suite*).

DÉPARTEMENTS.	DÉSIGNATION DU FER SUIVANT SON MODE D'ÉLABORATION.	1882 RAILS.	1882 FERS marchands et spéciaux.	1882 TÔLES.	1882 PRODUCTION totale.	1883 RAILS.	1883 FERS marchands et spéciaux.	1883 TÔLES.	1883 PRODUCTION totale.
		tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Nord	Puddlé	21.237	289.531	24.662	335.442	14.904	267.354	21.199	303.457
	Affiné au charbon de bois	»	12	»		»	»	»	
Oise	Puddlé	»	25.784	9.602	40.082	»	23.745	8.045	34.867
	Affiné au charbon de bois	»	605	2.446		»	407	1.820	
	Obtenu par réchauffage de vieux fers	»	1.645	»		»	850	»	
Pas-de-Calais	Obtenu par réchauffage de vieux fers et riblons	»	308	»	308	»	308	»	308
Pyrénées-Orient.	Affiné au charbon de bois	»	592	»	592	»	373	»	373
Rhin (Haut) (Territoire de Belfort)	Idem	»	2.168	»	2.168	»	1.809	»	1.809
Rhône	Puddlé	»	»	»	»	»	»	»	»
Saône (Haute-)	Affiné au charbon de bois	»	234	761	995	»	242	740	1.112
	Obtenu par réchauffage de vieux fers	»	»	»		»	»	130	
Saône-et-Loire	Puddlé	979	41.580	18.397	64.949	220	38.421	14.278	56.617
	Affiné au charbon de bois	»	76	3.917		»	»	3.458	
	Obtenu par réchauffage de vieux fers et riblons	»	»	»		»	55	185	
Sarthe	Affiné au charbon de bois	»	176	»	176	»	»	»	115
	Obtenu par réchauffage de fers bruts et riblons	»	»	»		»	115	»	
Savoie	Puddlé	»	»	»	58	»	67	»	95
	Affiné au charbon de bois	»	58	»		»	28	»	
Savoie (Haute-)	Affiné au charbon de bois	»	165	35	1.985	»	145	25	2.040
	Obtenu par réchauffage de riblons	[illegible]	[illegible]	[illegible]		[illegible]	[illegible]	[illegible]	

Seine	Puddlé	»	301	»	44.269	»	43	»	47.276
	Obtenu par réchauffage de riblons	»	43.968	»		»	47.233	»	
Seine-Inférieure	Obtenu par réchauffage de vieux fers	»	532	»	532	»	576	»	576
Seine-et-Oise	Idem	»	2.833	»	2.833	»	2.883	»	2.883
Somme	Puddlé	»	1.375	»	1.375	»	»	1.280	1.280
Tarn	Puddlé	»	1.261	»	2.196	»	2.182	»	2.749
	Obtenu par réchauffage de vieux fers et riblons	»	935	»		»	567	»	
Vienne	Obtenu par réchauffage de vieux fers et riblons	»	81	»	81	»	58	»	58
Vosges	Affiné au charbon de bois	»	910	1.485	2.395	»	453	1.651	2.104
Yonne	Puddlé	»	12.455	»	12.485	»	10.680	»	10.680
	Affiné au charbon de bois	»	30	»		»	»	»	
RÉCAPITULATION	Puddlé	27.016	775.366	136.353	938.735	19.178	692.775	121.804	833.57
	Affiné au charbon de bois	»	27.666	14.809	42.475	»	25.952	13.151	39.103
	Obtenu par réchauffage de vieux fers et riblons	»	79.808	12.003	91.811	»	81.535	13.555	95.208
	Totaux	27.016	882.840	163.165	1.073.021	19.178	800.380	148.510	968.068
Diminutions						7.838	82.460	14.655	104.953

Observation. — Les fers bruts ou massiaux transformés en produits marchands dans des départements autres que ceux où ils ont été fabriqués, ne figurent pas sur le tableau, afin d'éviter un double emploi.

PRODUCTION DES ACIERS.

DÉPARTEMENTS.	DÉSIGNATION DE L'ACIER SUIVANT SON MODE D'ÉLABORATION.	1882 RAILS.	1882 ACIERS marchands	1882 TÔLES.	1882 PRODUCTION totale.	1883 RAILS.	1883 ACIERS marchands	1883 TÔLES.	1883 PRODUCTION totale.
		tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Allier	Fondu au foyer Bessemer	18.600	»	»	23.301	8.100	»	»	11.837
	Fondu au four Siemens-Martin	»	4.581	120		»	3.469	268	
Ardennes	Fondu au foyer Bessemer	»	»	»	171	»	62	1.447	1.568
	Cémenté	»	3	»		»	6	»	
	Fondu au creuset	»	49	»		»	53	»	
	Obtenu par réchauffage de vieil acier	»	35	84		»	»	»	
Ariège	Fondu au four Siemens-Martin	»	3.475	»	6.223	»	2.996	»	5.945
	Puddlé	»	2.500	»		»	2.729	»	
	Cémenté	»	155	»		»	165	»	
	Fondu au creuset	»	93	»		»	55	»	
Aube	Fondu au foyer Bessemer	»	1.100	»	1.100	»	»	»	1.330
	Puddlé	»	»	»		»	1.330	»	
Aveyron	Fondu au four Siemens-Martin	25.803	»	»	25.803	30.380	175	»	30.555
Charente	Idem	»	439	»	700	»	»	»	»
	Fondu au creuset	»	261	»		»	»	»	
Côte-d'Or	Fondu au foyer Bessemer	»	120	»	500	»	»	»	575
	De forge	»	120	5		»	120	»	
	Cémenté	»	150	»		»	150	»	
	Fondu au creuset	»	100	5		»	100	»	
	Obtenu par réchauffage de vieil acier	»	»	»		»	60	145	
Côtes-du-Nord	Puddlé ou de forge	»	»	»	17	»	8	»	20
	Cémenté	»	5	»		»	5	»	
	Fondu au creuset	»	12	»		»	7	»	
Gard	Fondu au foyer Bessemer	59.819	914	»	83.579	76.068	2.671	»	73.329
	Fondu au four Siemens-Martin	20.839	2.007	»		12.143	2.447	»	
Garonne (Haute-)	Cémenté	»	109	»	109	»	117	»	117

Isère	Fondu au four Siemens-Martin	»	5.891	»	8.739	»	4.126	»	7.348
	Puddlé et de forge	»	1.801	»		»	1.498	»	
	Cémenté	»	395	»		»	277	»	
	Fondu au creuset	»	652	»		»	610	»	
	Obtenu par réchauffage de vieil acier.	»	»	»		»	839	»	
Landes	Fondu au foyer Bessemer	»	»	»	»	2.800	»	»	2.800
Loire	Fondu au foyer Bessemer	53.286	5.211	1.327	132.529	44.544	3.143	1.349	116.959
	Fondu au four Siemens-Martin	25.021	24.360	8.784		21.913	21.360	11.961	
	Puddlé et de forge	»	6.860	»		»	5.549	»	
	Cémenté	»	1.580	»		»	1.345	»	
	Fondu au creuset	»	5.628	257		»	5.288	207	
	Obtenu par réchauffage de vieil acier.	»	215	»		»	300	»	
Loire-Inférieure	Fondu au foyer Bessemer	»	»	»	387	7.243	446	357	12.493
	Fondu au four Siemens-Martin	61	112	214		430	1.357	2.660	
Meurthe-et-Moselle	Fondu au foyer Bessemer (procédé Thomas)	»	»	»	1.616	32.532	»	»	34.259
	Puddlé	»	1.031	585		»	1.113	614	
Meuse	Fondu au foyer Bessemer	»	»	»	51	»	157	»	157
	Obtenu par réchauffage de vieil acier.	»	36	15		»	»	»	
Morbihan	Fondu au four Siemens-Martin	»	»	40	40	»	»	»	30
	Obtenu par réchauffage de vieil acier.	»	»	»		»	»	30	
Nièvre	Fondu au four Siemens-Martin	135	4.429	649	5.731	»	2.371	481	3.468
	Puddlé	»	427	»		»	160	»	
	Fondu au creuset	»	87	4		»	454	2	
Nord	Fondu au foyer Bessemer	53.684	1.274	494	61.853	67.571	1.293	1.682	77.287
	Fondu au four Siemens-Martin	5.815	141	55		6.438	116	187	
	Cémenté	»	50	»		»	»	»	
	Fondu au creuset	»	310	»		»	»	»	
Oise	Fondu au four Siemens-Martin	»	909	1.630	2.539	»	412	2.890	3.302
Pas-de-Calais	Fondu au foyer Bessemer	»	»	»	»	33.165	»	»	33.165
Rhône	Fondu au foyer Bessemer	»	»	»	»	»	»	»	»
Saône-et-Loire	Fondu au foyer Bessemer	73.166	4.000	»	101.320	57.851	4.550	»	90.536
	Fondu au four Siemens-Martin	»	16.992	7.029		»	19.083	9.052	
	Puddlé	»	»	133		»	»	»	
	A reporter	336.259	98.619	21.430	456.308	381.178	92.570	33.332	507.080

PRODUCTION DES ACIERS (*suite*).

DÉPARTEMENTS.	DÉSIGNATION DE L'ACIER SUIVANT SON MODE D'ÉLABORATION.	1882. RAILS.	1882. ACIERS marchands	1882. TÔLES	1882. PRODUCTION totale	1883. RAILS.	1883. ACIERS marchands	1883. TÔLES	1883. PRODUCTION totale
	Report	336.259	98.619	21.430	456.308	381.178	92.570	33 332	507.080
Savoie	Puddlé	»	»	»	»	»	39	»	39
Seine	Fondu au foyer Bessemer	»	415	»	415	»	60	»	420
	Fondu au four Siemens-Martin	»	»	»		»	360	»	
Tarn	Puddlé	»	796	»	1.515	»	876	»	1.506
	Cémenté	»	256	»		»	171	»	
	Fondu au creuset	»	463	»		»	459	»	
RÉCAPITULATION	Fondu au foyer Bessemer	258.555	13.034	1.821	273.410	309.874	14.753	4.835	329.462
	Fondu au four Siemens-Martin	77.704	63.336	18.521	159.561	71.304	55.901	27.499	154.704
	Puddlé et de forge	»	13.535	723	14.258	»	13.420	614	14.034
	Cémenté	»	2.703	»	2.703	»	2.236	»	2.236
	Fondu au creuset	»	7.655	266	7.921	»	7.026	209	7.235
	Obtenu par réchauffage de vieil acier.	»	286	99	385	»	1.199	175	1.374
	Totaux	336.259	100.549	21.430	458.238	381.178	94.535	33.332	509.045
	Augmentations					44.919	»	11.902	50.807
	Diminution					»	6.014	»	

ÉTUDE

SUR LA TENEUR EN FER ET EN MANGANÈSE

DES

MINERAIS DE RANCIÉ (ARIÈGE)

Par M. CARCANAGUES, Ingénieur des Mines.

L'auteur de la présente note s'est proposé de rechercher la teneur moyenne en fer et en manganèse de l'ensemble des minerais, en très grande partie formés d'hématite brune, de la mine de Rancié, dont l'exploitation, sous l'autorité du préfet de l'Ariège, est confiée au service local des mines.

Il s'est attaché particulièrement à étudier l'influence, sur la richesse de ces minerais, de l'état de fragmentation dans lequel ils sont extraits de la mine.

La production intégrale d'une même journée de travail (Juin 1880) a été partagée, avec autant d'approximation qu'il a été possible de le faire, en neuf catégories, détaillées ci-dessous :

TABLEAU A.

		kilog.
Nos 1 Escudelle d'en Bas....	Région dite Crambette..........	5.830
2 id.	Région dite du Centre	1.165
3 id.	id. (minerai noir).	2.335
4 Petit-Gîte.............	Région dite Turquou	18.670
5 Avancée de Becquey...	Région dite de la Chambre......	3.500
6 id. ...	Région dite Lirlou (min. siliceux).	2.335
7 id. ...	Région dite Castille	36.165
8 Escudelle et Espérance.	Éboulis de diverses régions......	7.000
9 Niveau de Sainte-Barbe.	Éboulis.........................	22.000
	TOTAL de l'extraction d'une journée........	99.000

Dans chacune de ces catégories, a été pris un wagonnet de minerai (1) qui a été, en totalité, tamisé et divisé en quatre lots de grosseurs différentes, que nous désignerons par les lettres *a*, *b*, *c* et *d*.

La grosseur *a* est le refus d'une grille à barreaux parallèles de 0m,03 d'espacement intérieur.

La grosseur *b* est le refus, le minerai de grosseur *a* ayant été mis à part, d'un tamis à mailles carrées de 0m,005 de côté.

La grosseur *c* est le refus, après élimination de *a* et *b*, d'un tamis à mailles carrées de 0m,003 de côté.

Enfin *d* est le minerai fin qui a traversé les trois tamis.

Les opérations de criblage, exécutées avec le plus grand soin, ont donné les résultats ci-dessous, exprimés en kilogrammes.

TABLEAU B.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	885	727	795	770	513	650	943	»	440
b	240	168	350	360	472	395	179	108	185
c	34	24	35	44	68	40	40	42	34
d	40	10	50	50	120	68	30	54	44
Déchet au tamisage	1	1	10	16	9	7	5	3	7
Poids soumis au criblage	1.200	930	1.240	1.240	1.182	1.160	1.197	207	710

Il est intéressant de rapporter ces proportions de gros,

(1) Sauf pour le N° 9, de Ste-Barbe, attendu que le minerai de ce niveau est porté hors de la mine à dos d'homme. On a pris, pour les tamiser, un certain nombre de charges ou voltes.

moyen, fin et très fin à la tonne; le calcul conduit aux résultats consignés dans le tableau ci-après :

TABLEAU C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	738	782	646	629	437	564	791	»	626
b	200	181	285	294	403	342	150	529	263
c	28	26	28	36	58	35	34	206	48
d	34	11	41	41	102	59	25	265	63
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

En multipliant les nombres de ce tableau par les quantités totales afférentes à chaque catégorie (tableau A) et divisant par 1.000, on obtient le résultat général de la classification par grosseurs de l'extraction totale quotidienne :

TABLEAU D.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Totaux par grosseurs
a	4.303	911	1.508	11.743	1.530	1.317	28.606	»	13.772	63.690
b	1.166	211	666	5.489	1.410	798	5.425	3.703	5.786	24.654
c	163	30	65	672	203	82	1.230	1.442	1.056	4.943
d	198	13	96	766	357	138	904	1.855	1.386	5.713
TOTAUX.	5.830	1.165	2.335	18.670	3.500	2.335	36.165	7.000	22.000	99.000

Les 99 tonnes de l'extraction d'un jour, peuvent donc se diviser comme suit :

	tonnes
Gros	63,690
Moyen	24,654
Fin	4,943
Très fin	5,713

soit la proportion :

Gros	643	pour 1000
Moyen	249	»
Fin	50	»
Très fin	58	»

La classification, par grosseurs, des neuf qualités de minerai énumérées plus haut, a fourni, comme on l'a vu, 35 lots, sur chacun desquels a été faite avec un soin minutieux, une prise d'essai d'une centaine de grammes.

Le procédé employé a été le suivant : les blocs un peu gros ayant préalablement été réduits en petits fragments, le minerai de chaque lot a été mélangé à la pelle et réuni en un tas conique qu'on a partagé en quatre parties sensiblement égales par deux coupures verticales et perpendiculaires entre elles ; on a pris deux de ces parties à l'opposé l'une de l'autre et, sur leur ensemble, on a pratiqué les mêmes opérations de mélange et de réunion en un nouveau tas ; sur lequel on a encore opéré de la même manière. Cette série d'opérations a été poursuivie jusqu'à ce qu'on ne soit plus en présence que de quelques kilogrammes de matière, qu'on a alors finement pulvérisés et auxquels on a encore appliqué le même procédé.

Sur les 35 échantillons ainsi obtenus, ont été faites les déterminations suivantes :

1° Humidité (dessiccation à l'étuve) ;

2° Fer (essai au permanganate) ;

3° Manganèse (précipitation par le brôme).

Les résultats de ces essais sont consignés dans le tableau ci-après :

TABLEAU E.

Catégories	Grosseurs	Humidité	Fer	Manganèse	Fer rapporté au minerai sec	Manganèse rapporté au minerai sec
1	*a*	1,70	52,15	2,16	53,05	2,20
	b	1,00	52,67	2,88	53,20	2,91
	c	1,40	40,46	6,48	41,03	6,57
	d	2,12	37,15	3,60	37,96	3,68
2	*a*	2,64	50,40	4,32	51,76	4,44
	b	2,72	50,23	5,76	51,63	5,92
	c	4,56	41,68	5,04	43,67	5,28
	d	3,66	40,81	5,04	42,36	5,23
3	*a*	3,90	54,24	6,48	56,44	6,74
	b	4,00	53,19	5,04	55,40	5,25
	c	3,50	48,31	6,48	50,06	6,71
	d	4,04	44,65	7,20	46,53	7,50
4	*a*	8,38	51,10	4,32	55,77	4,72
	b	6,08	53,72	3,60	57,09	3,83
	c	6,00	50,92	5,04	54,17	5,36
	d	5,40	45,52	4,32	48,12	4,57
5	*a*	2,02	52,84	5,04	53,93	5,14
	b	1,50	54,59	2,16	55,32	2,19
	c	2,02	51,97	6,48	53,04	6,61
	d	2,02	49,18	9,36	50,19	9,55
6	*a*	1,26	38,72	5,76	39,21	5,83
	b	1,42	48,13	5,76	48,85	5,84
	c	2,46	38,54	9,36	39,51	9,59
	d	2,22	27,90	6,48	28,53	6,63
7	*a*	2,22	55,95	2,88	57,22	2,95
	b	2,86	47,61	5,76	49,01	5,93
	c	3,18	32,44	7,20	33,51	7,44
	d	3,40	31,74	7,92	32,86	8,20
8	*a*	»	»	»	»	»
	b	3,72	45,52	5,04	47,27	5,23
	c	3,20	42,03	5,76	43,42	5,95
	d	4,40	40,46	6,48	42,33	6,78
9	*a*	2,80	51,27	3,60	52,75	3,70
	b	2,26	50,23	4,32	51,39	4,42
	c	2,52	43,60	5,04	44,73	5,17
	d	2,88	31,74	4,32	32,68	4,45

L'influence de la grosseur se manifeste très nettement dans ce tableau ; la teneur en fer diminue rapidement quand le minerai devient plus menu, mais en même temps la proportion de manganèse augmente généralement.

Ce résultat, intéressant au point de vue du traitement métallurgique des minerais de Rancié, s'explique facilement par le peu de cohérence des oxydes du manganèse.

En tenant compte des poids du tableau D et des teneurs consignées dans le tableau E, on calcule aisément, d'une part la teneur moyenne de chaque catégorie, d'autre part celle de chaque grosseur.

TABLEAU F.

Catégories	Humidité	Fer	Manganèse	Fer rapporté au minerai sec	Manganèse rapporté au minerai sec
1	1,57	51,40	2,47	52,20	2,51
2	2,72	50,04	4,61	51,44	4,75
3	3,92	53,38	6,10	55,14	6,35
4	7,50	51,63	4,13	55,82	4,46
5	1,81	54,00	4,40	56,02	4,48
6	1,41	41,29	6,79	41,89	6,89
7	2,38	53,29	3,58	54,59	3,67
8	3,79	43,46	5,57	45,17	5,79
9	2,65	49,40	3,90	50,74	4,01

Deux de ces catégories seulement sont loin d'atteindre la teneur de 50 p. 100, ce sont le N° 6, qui correspond à un minerai siliceux de l'avancée de Becquey, et le N° 8, formé par un mélange d'éboulis de l'Escudelle d'en Bas et de l'Espérance.

TABLEAU G.

Grosseurs	Humidité	Fer	Manganèse	Fer rapporté au minerai sec	Manganèse rapporté au minerai sec
a	3,52	53,28	3,47	55,22	3,60
b	3,38	50,10	4,47	51,85	4,63
c	3,32	41,56	5,98	42,99	6,19
d	3,72	37,84	5,98	39,30	6,21

On constate encore ici, sur l'ensemble de l'extraction, la progression de la teneur en manganèse avec la ténuité du minerai.

Enfin, pour la teneur moyenne générale, dont la détermination était le but final du présent travail, le calcul donne :

	Humidité	Fer	Manganèse	Fer rapporté au minerai sec	Manganèse rapporté au minerai sec
Moyenne générale	3,49	51,01	3,99	52,85 (1)	4,13

(1) M. Mussy, ingénieur en chef des mines, a donné (*Ann. des mines*, tome XIV, 1868, page 282) un certain nombre d'analyses de minerais de Rancié, qui conduisent, en ramenant à l'état sec, à une teneur moyenne en fer de 57,31. On s'explique facilement la différence entre ce chiffre et celui du présent travail, en remarquant que M. Mussy n'a pas fait de prises d'essai proprement dites, mais a opéré sur des « échantillons. »

L'auteur de la présente note doit signaler, en terminant, le zèle intelligent qu'a bien voulu apporter M. Séris, garde-mines à la résidence de Sem, conducteur des travaux de Rancié, à la préparation des prises d'essai.

Qu'il lui soit également permis d'adresser ses vifs remerciements à M. Prache, chimiste du Laboratoire de l'Est, à Nancy, qui l'a gracieusement aidé dans la tâche ingrate des 105 opérations de laboratoire qu'entraînait la conduite à bonne fin du présent travail.

BULLETIN DES TRAVAUX DE CHIMIE

EXÉCUTÉS EN 1882

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES

DANS LES LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX

I. — LABORATOIRE D'ANGERS.

Travaux de M. PETITDIDIER, ingénieur des mines (EXTRAIT).

1° *Minerais de fer*. — Deux échantillons envoyés par M. de la Fare, concessionnaire de la mine de St-Laurs (Deux-Sèvres), provenant de la commune de la Bussière, arrondissement de Gien (Loiret.)

Le N° 1 est une hématite brune, dure et compacte, à cassure très irrégulière ; le N° 2, un carbonate de fer en partie décomposé, à texture zonée et poussière ocreuse.

N° 1.			N° 2.		
Eau	12,2		Eau	10,9	
Perte au rouge	3,4		Carbonate de fer	34,6	(Fe: 44,9)
Peroxyde de fer	37,7	(Fe : 26,1)	Peroxyde de fer	41,1	
Ox. de manganèse	8,1		Ox. de manganèse	4,8	
Chaux	19,0		Carbon. de chaux	5,3	
Alumine	3,9		Alumine	2,3	
Silice	8,6		Silice et magnésie	traces	
Magnésie	1,5		Phosphore	0,21	
Phosphore	0,28				
	94,68			99,21	

2° *Schistes argileux.* — Trois échantillons provenant de la carrière de Fontaineriant, près Sées, (Orne), remis par M. Blavier, ingénieur à Angers, et destinés à la fabrication de briques plus ou moins réfractaires.

Schistes gris, tendres et onctueux :

	N° 1.	N° 2.	N° 3.
Perte au rouge	15,0	12,5	15,5
Silice	48,4	51,6	48,2
Alumine	26,1	27,0	25,4
Protoxyde de fer	6,1	5,5	6,5
Chaux	1,2	1,6	1,9
Magnésie	1,1	1,3	1,1
Potasse	1,6	1,6	1,8
	99,5	101,1	100,4

II. — LABORATOIRE DE CLERMONT-FERRAND.

Travaux de M. de BÉCHEVEL, ingénieur des mines (Extrait).

§ 1. — Combustibles.

1° et 2° *Houilles.* — Envoi de M. Talmant.

a. Recherches effectuées par ledit sieur dans la propriété de M. Gidelle, au hameau de Biorat (commune d'Youx).

L'échantillon présente des zones alternativement brillantes et ternes, avec imprégnation de pyrite de fer sur quelques faces de clivage.

Dureté considérable.

Densité : 1,30.

Le charbon brûle avec flamme, en éprouvant un boursouflement sensible.

a_1. 1[re] prise d'essai portant sur les zones brillantes de l'échantillon.

Coke bien aggloméré, de couleur grise.

a_2. 2[e] prise d'essai représentant la composition moyenne du bloc.

b. Anciens travaux de recherche exécutés au village de Laval, (commune d'Youx).

Charbon barré, très dur.

b_1, b_2. Deux prises d'essai.

Coke mal aggloméré. — Cendres rougeâtres.

	a_1	a_2	b_1	b_2
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100
Rendement en coke.....	57,50	59,50	66,66	65,00
Matières volatiles......	42,50	40,50	33,33	35,00
Cendres	4,00	8,00	16,00	16,00

3° *Tourbe*. — Echantillon recueilli sur le plateau du Cézallier, (commune de St-Alyre-ès-Montagne. — Village de Jassy).

Tourbe jaunâtre composée de mousses, d'herbe et de brindilles.

La calcination en vase clos a donné un résidu de 30 p. 100 et l'incinération une teneur en cendres de 1,25 p. 100. L'échantillon avait perdu son eau d'imprégnation par suite d'une longue exposition à l'air.

Composition sommaire :	Rendement en charbon...	33,00	p. 100
	Matières volatiles........	70,00	»
	Cendres................	1,25	»

§ 2. — MINERAIS.

1° à 3°. — *Sulfure d'antimoine*. — *a*. Provenant de Montrôme,

commune d'Ally, (Haute-Loire). Echantillon présenté par M. Brugeyroux, demeurant à Montrôme.

Sulfure à grandes lamelles.

b. Provenant de Langeac (Fontaine Brugeyroux). Présenté par M. Brugeyroux.

Minerai à grain fin, aiguilles entrecroisées noyées dans une pâte quartzeuse.

c. Provenant du ravin du Boulet (concession de Fromenty), commune de Langeac.

Mélange de cristaux à grandes lamelles et de fines aiguilles. Gangue quartzeuse.

Composition centésimale :

	a	*b*	*c*
Gangue insoluble	19,000		
Quartz		73,40	77,200
Fer	1,050	3,55	4,130
Cuivre	traces	traces	traces
Plomb	0,140	traces	0,817
Zinc	0,800	0,40	0,800
Antimoine	57,265	14,04	9,800
Arsenic	0,700	traces	traces
Soufre	21,045	8,61	7,253
	100,000	100,00	100 000

Correspondant à :

	a	*b*	*c*
Gangue insoluble	19,000		
Quartz		73,40	77,200
Pyrite de fer	2,250	6,66	7,740
Galène	0,161	»	0,947
Blende	1,200	0,60	0,840
Sulfure d'antimoine	76,389	19,34	13,033
Sulfure d'arsenic	1,000	»	»
	100,000	100,00	100,000

§ 3. — Engrais.

1° *Amendement agricole.* — Echantillon présenté par M. Marchepoil, de Saint-Etienne-sur-Sea (Puy-de-Dôme).

L'échantillon provient d'un terrain volcanique situé dans la commune de St-Etienne-Sur-Sea (Puy-de-Dôme). — Au dire de M. Marchepoil cette matière produirait d'excellents effets sur les herbages : elle se désagrège facilement.

Gangue insoluble et silice.	49,50	
Eau	22,23	
Phosphate de chaux	0,87	
Oxydes de fer (FeO et Fe^2O^3)	18,00	Combinés avec la silice.
Alumine	8,25	
Chaux	4,53	
Magnésie	0,70	
Alcalis	0,40	
Matières non dosées	0,42	
	100,00	

III. — LABORATOIRE DE LIMOGES.

Travaux de M. HURLAULT, garde-mines (Extrait).

1° à 11°. *Phosphates de chaux.*

1. Envoi de M. Bourgeois de Lavergne.

2. Envoi de M. le Maire de St-Laurent-lès-Eglises.

3,4. Envoi de M. Batcave, de Limoges. Phosphates des Ardennes.

5. Envoi de M. Tardieu, de Limoges.

6-11. Envois de M. de Grossouvre, ingénieur des mines à Bourges :

6,7. Echantillons provenant de la couche de phosphate exploitée dans le Sancerrois, dans l'assise supérieure du Gault, zône de l'*Amm. inflatus*.

8,9. Echantillons provenant des exploitations de phosphate des environs de Célon (Indre), dans le lias moyen, zône de l'*Amm. capricornus*.

10,11. Echantillons provenant des exploitations de phosphate des environs de Malicornay (Indre), dans le lias moyen, zône de l'*Amm. capricornus*.

	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Richesse en acide phosphorique (p. 100)....	16,00	22,78	20,25	9,49	25,32
Phosphate tribasique correspondant (p. 100)	34,88	49,66	44,15	20,69	55,20

	N° 6	N° 7	N° 8	N° 9	N° 10	N° 11
Richesse en acide phosphorique (p. 100)...	20,25	18,99	22,78	24,05	26,58	27,21
Phosphate tribasique correspondant (p. 100)	44,15	41,40	49,66	52,43	57,94	59,32

IV. — LABORATOIRE DU MANS.

Travaux de M. LODIN, ingénieur des mines (EXTRAIT).

§ 1. — ENGRAIS DIVERS.

Il a été analysé, en 1882, 66 échantillons d'engrais, qui se subdivisent de la manière suivante :

Sulfate d'ammoniaque	7
Guano	9
Phospho-guano	16
Phosphates naturels	3
Superphosphates	8
Engrais complexes divers	16
Engrais minéraux et amendements	3
Engrais organiques	4

L'azote ammoniacal a été dosé par élimination de l'ammoniaque à froid par une dissolution alcaline et absorption par une liqueur sulfurique titrée.

L'azote organique a été dosé sur le résidu du premier traitement lorsque l'ammoniaque était en proportion notable ; lorsqu'au contraire l'ammoniaque existait dans la matière en faible quantité on a dosé ensemble l'azote ammoniacal et l'azote organique par la méthode de Will et de Warrentrapp modifiée par Péligot.

L'azote contenu sous forme d'azotate a été dosé par transformation en ammoniaque, au moyen de l'acide sulfhydrique et de la chaux sodée.

L'acide phosphorique total contenu dans les engrais et l'acide sous forme de combinaisons solubles dans le citrate d'ammoniaque ammoniacal ont été dosés par précipitation sous forme de phosphate

ammoniaco-magnésien, par un excès de sel magnésien en liqueur citrique et ammoniacale, puis par titrage, au moyen d'un sel d'urane, suivant la méthode indiquée par Joulie.

Parmi les amendements, une marne provenant de Gazonfier, près du Mans, envoyée par M. Verlet, juge au Tribunal du Mans, a donné les résultats suivants :

Humidité	5,80
Acide carbonique	32,10
Acide phosphorique	0,06
Alumine et oxyde de fer	0,66
Chaux	40,40
Magnésie	0,55
Résidu insoluble	21,02
	100,09

Cette marne, qui appartient à l'étage à *Inoceramus labiatus*, contient de nombreux débris de coquilles, de bryozoaires et de baguettes d'oursins, elle se délite avec une grande facilité.

§ 2. — Eaux potables.

1° à 4°. — Quatre analyses d'eaux potables ont été faites sur la demande du service du Génie.

	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.
	gr.	gr.	gr.	gr.
Résidu d'évaporation (par litre)	0,815	0,660	0,344	0,186
Matières organiques	traces	traces	0,020	0,021
Acide chlorhydrique	non dosé	non dosé	0,014	0,006
Acide sulfurique	0,106	0,070	0,023	traces
Silice	traces	traces	0,013	0,031
Oxyde de fer	traces	traces	traces	0,015
Chaux	0,319	0,283	0,110	0,024
Magnésie	traces	traces	0,013	0,005
Alcalis	non dosés	non dosés	0,073	non dosés

N° 1. Eau d'un puits de la prison militaire du Mans.

N° 2. Eau d'un puits situé à 60 mètres de distance du premier.

Ces deux eaux sont impropres à la cuisson des légumes ; elles proviennent d'une nappe aquifère qui se trouve dans les sables cénomaniens inférieurs.

N° 3. Eau d'un puits de la caserne d'infanterie de Chartres.

N° 4. Eau d'un puits de la caserne de Mayenne ; la nappe aquifère se trouve dans le gneiss décomposé.

V. — LABORATOIRE DE MARSEILLE.

Travaux de M. OPPERMANN, ingénieur des mines (EXTRAIT).

1° à 3° *Houilles.* — 1. Envoi de MM. Savont frères, entrepositaires de houille anglaise, à Marseille.

Menu de Cardiff, dénommé Cory's Merthyr. Houille sèche maigre, d'un beau noir, assez friable, donne un coke pulvérulent, les cendres sont gris rosé pâle. On remarquera le faible pouvoir calorifique des matières volatiles. Ce charbon est employé à Marseille au chauffage des chaudières à vapeur.

2,3. Envoi de MM. Savont frères, entrepositaires de charbons, à Marseille.

2. Menu de houille provenant du bassin d'Alais. Echantillon d'un beau noir luisant ; le coke, bien que peu boursouflé, est fortement agglutiné.

3. Menu de houille anglaise, d'un beau noir, provenant de Cardiff. Le coke est faiblement agglutiné.

Essais faits dans le but de comparer le pouvoir caloréfique des deux échantillons. On voit que là houille anglaise est légèrement supérieure.

	N° 1	N° 2	N° 3
Matières volatiles	0,140	0,154	0,157
Carbone fixe	0,800	0,744	0,767
Cendres	0,060	0,102	0,076
	1,000	1,000	1,000
Pb avec Pbo	30,400	28,850	30,530
Carbone équivalent	0,894	0,848	0,897
Carbone équivalent aux matières volatiles	0,094	0,104	0,130

4° à 12° *Lignites.* — 1,2. Charbon provenant de la concession de Coudoux (Bouches du Rhône), adressé par M. Christian Huber, ingénieur de l'exploitation. Lignite friable, aspect terne et terreux.

1. Couche N° 3. — 2. Couche N° 4.

L'exploitation de cette mine a été reprise, puis abandonnée encore en 1881. On a extrait environ 150 tonnes de combustible.

3 à 8. Envoi de M. Lauzier, directeur de l'exploitation des mines de la Compagnie des Charbons des Alpes :

3 à 5. Lignite sec. Ces trois échantillons proviennent de la concession de Dauphin (Basses-Alpes), pris sur trois couches verticales qui paraissent constituer le prolongement des couches du Bois-d'Asson.

6. Lignite sec, provient de la partie moyenne de la grande couche du Bois-d'Asson. Concession de Villeneuve (Basses-Alpes).

7,8. Lignite gras. Echantillons provenant des couches n°s 9 et 10, des Pousseuses du Queyron, quartier de Grenouillet. Concession de Dauphin.

Le lignite sec donne un coke pulvérulent. Le coke fourni par le lignite gras est très léger, et agglutiné faiblement.

9. Envoi de M. Durand, armateur, à Marseille, provient des environs de Constantine (Algérie). A été pris à la surface ; on n'a fait aucune espèce de recherche.

Lignite sec, compact, noir luisant, résiste assez bien à l'action de l'air. Le coke est pulvérulent, les cendres sont grises.

	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4
Matières volatiles.........	0,552	0,565	0,518	0,495
Carbone fixe..............	0,353	0,351	0,439	0,465
Cendres..................	0,095	0,084	0,043	0,040
	1,000	1,000	1,000	1,000
Pb avec Pbo.............	17,050	17,700	21,470	22,200
Carbone équivalent........	0,501	0,520	0,631	0,652
Carbone équivalent aux matières volatiles.........	0,148	0,169	0,192	0,187

	N° 5	N° 6	N° 7	N° 8	N° 9
Matières volatiles.........	0,485	0,507	0,375	0,454	0,545
Carbone fixe..............	0,476	0,438	0,475	0,433	0,359
Cendres..................	0,039	0,055	0,150	0,113	0,096
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Pb avec Pbo.............	21,070	20,600	22,000	23,400	16,800
Carbone équivalent........	0,620	0,606	0,647	0,688	0,494
Carbone équivalent aux matières volatiles.........	0,144	0,168	0,172	0,255	0,135

VI. — LABORATOIRE DE PRIVAS.

Travaux de M. TAUZIN, ingénieur des mines (EXTRAIT).

1° à 16°. *Houilles.* — Seize échantillons de houille, provenant des deux concessions de Pigère et Mazel et de Sallefermouse que la Compagnie des houillères de Banne exploite dans le petit bassin du même nom, ont été examinés pendant l'année 1882 au laboratoire de Privas.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Carbone fixe....	54,85	58,33	64,18	60,10	63,75	63,75	57,50	61,25
Matières volatiles	34,50	30,42	30,57	29,50	30,00	29,75	29,25	25,50
Cendres.........	11,15	11,25	5,25	10,10	6,25	6,50	13,25	13,25
Totaux....	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Plomb avec litharge	25,305	26,273	28,350	26,440	27,765	27,430	25,415	26,160
Carbone équivalent...	0,7442	0,7727	0,8338	0,7982	0,8166	0,8067	0,7475	0,7694
Carbone équivalent aux matières volatiles...	0,2007	0,1894	0,1920	0,1942	0,1791	0,1692	0,1725	0,1539

	9	10	11	12	13	14	15	16
Carbone fixe....	62,25	61,25	61,25	64,00	66,45	63,80	58,50	53,75
Matières volatiles............	32,00	31,25	30,75	27,25	29,00	26,75	30,50	26,50
Cendres.........	5,75	7,50	8,00	8,75	4,55	9,45	11,00	19,75
Totaux....	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Plomb avec litharge........	28,282	28,165	26,912	27,465	28,680	27,210	25,160	23,685
Carbone équivalent...........	0,8318	0,8284	0,7915	0,8078	0,8429	0,8002	0,7400	0,6848
Carbone équivalent aux matières volatiles....	0,2098	0,2159	0,1790	0,1678	0,1784	0,1622	0,1550	0,1473

Le premier de ces échantillons provient de la couche N° 3 du groupe du Mazel, la seule actuellement exploitée dans la concession de Pigère et Mazel. Des quinze autres, six (N°s 2 à 7) ont été pris dans les piliers laissés dans l'ancienne exploitation du Souter-

rain au voisinage de la galerie générale de roulage; les numéros 2 à 7 correspondent respectivement aux couches 1 à 6 rencontrées par cette galerie, la couche n° 1 étant la couche la plus élevée. Les cinq échantillons suivants (N°s 8 à 12) proviennent des cinq couches exploitées au Cros et correspondent respectivement aux couches 1 à 5. Les quatre derniers échantillons représentent les couches de la fosse de la Pause du Lun, les numéros les plus faibles étant encore affectés aux couches les plus élevées. L'échantillon n° 13 provient de la descente de Combelongue.

Ajoutons que les cendres fournies par un certain nombre d'échantillons (notamment les N°s 1, 5, 8, 11 et 12) sont fort rouges, que le coke obtenu n'a généralement pas de dureté et que la forte proportion de cendres laissée par le dernier échantillon autorise à penser que la prise d'essai n'a pas été bien faite.

VII. — LABORATOIRE DE RENNES.

Travaux de M. YVART, garde-mines (EXTRAIT).

§ 1. — ENGRAIS.

Dans le courant de l'année 1882, il a été fait 83 analyses au laboratoire de Rennes; elles ont porté sur 82 échantillons d'engrais divers et un échantillon de calcaire.

Les 82 analyses d'engrais se décomposent de la manière suivante :

Phosphates minéraux	61
Noir animal	12
Guanos et phosphoguanos	7
Engrais complexes	2
	82

On voit que les phosphates fossiles, provenant généralement des Ardennes, continuent à jouer un rôle prédominant dans l'agriculture d'Ille-et-Vilaine; l'emploi du noir animal tend à devenir

moins fréquent et celui des superphosphates ne s'est pas encore répandu jusqu'ici.

On a employé les mêmes méthodes d'analyses que dans le laboratoire du Mans.

§ 2. — Calcaires.

1° *Calcaire* provenant de Cartravers (Commune de la Harmoye). — Ce calcaire est noir, dur, cristallin ; il présente l'aspect d'un calcaire carbonifère bien plutôt que d'un calcaire silurien, comme on l'a admis jusqu'ici.

Il contient (analyse de M. Lodin, ingénieur des mines) :

Quartz	1,86
Chaux	54,30
Magnésie	0,74
Acide carbonique	43,60
Acide sulfurique	traces
	100,50

On n'a pu y reconnaître aucune trace d'acide phosphorique, même par l'emploi du molybdate d'ammoniaque.

Le caltaire de Cartravers est assez activement exploité pour la fabrication de la chaux grasse ; celle-ci est d'excellente qualité au point de vue agricole. On en consomme une quantité assez importante dans les Côtes du Nord, mais l'usage ne s'en est pas répandu jusqu'ici dans l'Ille-et-Vilaine, à cause de la concurrence trop active de la chaux de Saint-Pierre-la-Cour.

VIII. — LABORATOIRE DE L'ÉCOLE DES MINES DE ST-ÉTIENNE.

Travaux de M. BAROULIER, professeur de manipulations chimiques (Extrait).

§ 1. — Combustibles.

Lignites de la mine de Minerve (Hérault) :

Coke en poussière, un peu aggloméré	50,00 p.100
Matières volatiles	50,00
Cendre brune	13,80
Carbone fixe	36,20
Eau hydrométrique	4,50
Soufre total	6,79
Soufre des sulfates	0,25
Soufre des sulfures	6,54

Le soufre se trouve en presque totalité à l'état de sulfure de fer.

Pouvoir calorifique déterminé au moyen de la litharge : 5250, le pouvoir calorifique du carbone étant 7815.

Analyse des cendres :

Silice	12,00
Sesquioxyde de fer	56,21
Alumine	9,00
Chaux	12,50
Magnésie	2,25
Acide sulfurique	7,50
Acide phosphorique	0,54
Alcalis	traces
	100,00

Ces cendres sont fusibles, elles doivent ronger les barreaux des grilles à cause de la forte proportion de soufre contenu dans le lignite.

Essai pour gaz :

100 kilogrammes de ce lignite produit 27^{m3}, 50 de gaz mesuré sous la pression de 712 millimètres et à la température de 12°. — Sous la pression de 760 mm. et la température de 0°, le volume du gaz serait de 25 mètres cubes.

	kil.
Le coke obtenu a été (pour 100 k.) de	50,00
Le goudron (noir) de	9,75
Les eaux ammoniacales de	7,10

Les eaux ammoniacales ont donné 0kil,10 d'ammoniaque, ce qui répond à peu près à 290 grammes de sulfate d'ammoniaque, produit servant pour engrais.

Le pouvoir éclairant du gaz était de 102, chiffre admis par les villes, la limite étant de 105; le chiffre 102 est le nombre de litres de gaz qu'il a fallu brûler en une heure avec le bec Bengel à 30 trous et sous la pression de 10 à 12 millimètres d'eau pour donner la même quantité de lumière que la lampe Carcel, type brûlant 42 grammes d'huile épurée de colza par heure.

A la distillation lente, pour obtenir le maximum de produits condensables, il s'est produit :

Goudron marron................	15,00	p. 100
Coke.........................	52,00	»
Eaux ammoniacales............	8,00	»

La distillation de ce dernier goudron a donné :

Huiles légères.................	5,10	p. 100
Huiles lourdes à paraffine	6,10	»
Brai sec noir cassant...........	3,80	»

Agglomération :

Ce lignite, mélangé à l'état de menu passant au crible de 1 centimètre avec 10 pour 100 de brai sec de houille, produit un assez bon aggloméré; mélangé à 1/4 de houille grasse et 9 pour 100 de brai sec, il donne un très bon aggloméré, quoiqu'un peu cendreux et pouvant obstruer les grilles.

§ 2. — Minerais.

1° *Galène.* — Cette galène, verdâtre à la surface, provient du filon du Salet (Puy-de-Dôme).

Soufre	10,40
Antimoine	traces
Arsenic	traces
Plomb	71,20
Fer	1,25
Argent	0,022
Alumine	2,00
Chaux	0,25
Silice	12,20
Pertes	0,178
Eau	2,50
	100,00

A l'essai par voie sèche cette galène a donné :

Plomb doux ... 67 p. 100
Argent : 220 grammes pour 1000 kilog. de minerai.

2° *Minerai de fer* du sondage de Toussieux (Isère) pris à la profondeur de 273 mètres (minerai en roche brune).

Sesquioxyde de fer	60,000
Alumine	2,500
Oxyde rouge de manganèse	0,250
Chaux	0,750
Silice (Quartz en poudre fine)	27,100
Magnésie	Faibles traces
Acide phosphorique	0,015
Soufre	0,000
Perte au feu	9,000
Pertes et corps non dosés	0,385
	100,000

L'essai par voie sèche a donné :

Fonte blanche truitée (tenace) 43,40 p.100
Répondant à fer métallique 41,40

Ce minerai est d'une grande pureté, il est destiné à produire des fontes, fers et aciers d'une qualité supérieure.

§ 3. — Divers.

1° *Ciments* à prise prompte (jaunes), provenant l'un (*a*) de Domène et l'autre (*b*) de Lancey (Département de l'Isère).

	a	b
Chaux	53,70	53,20
Magnésie	2,80	2,80
Sesquioxyde de fer	7,00	6,90
Magnésie	traces	traces
Alumine	13,00	13,20
Silice	22,50	22,70
Eau	1,00	1,00
Pertes	0,00	0,20
	100,00	100,00

Ces ciments sont de très bonne qualité, ils font prise en 4 à 5 minutes et prennent une dureté remarquable dans l'eau.

2° *Eau* employée pour rendre les tissus incombustibles. Echantillon présenté par le directeur d'un musée d'anatomie, à Saint-Etienne, en juillet 1882.

Un litre de cette eau contenait :

	gr.
Sulfate d'ammoniaque (cristallisé)	87,32
Borate d'ammoniaque	37,00
Argile blanche formant lait avec de l'eau.	4,50
Silice et soude	traces

L'emploi de cette eau a rendu des tissus tellement incombustibles qu'il était impossible de les faire brûler complètement sur un feu de charbon.

IX. — LABORATOIRE D'ALGER.

Travaux de M. TINGRY, garde-mines (EXTRAIT).

§ 1. MINERAIS.

1°, 2° *Minerai de plomb.* — Deux échantillons remis par M. Pillet et provenant de Tizi-Ouzou.

	1	2
Sulfure de plomb	9,50	traces
Carbonate de plomb	28,16	31,70
Peroxyde de fer	24,08	25,48
Gangue siliceuse	32,62	38,15
Pertes	5,64	4,67
	100,00	100,00

3° *Minerai de zinc* provenant de Tizi-Ouzou, remis par M. Pillet.

Carbonate de zinc	58,75	(Zn=27,95.)
d° de plomb	16,30	(Pb=12,55.)
d° de fer	11,08	
Gangue dolomitique (par différence)	13,87	
	100,00	

4° *Galène.* — Echantillon provenant de Djidjelly et remis par M. Johannès fils.

Plomb	58 p. 100
Argent à la tonne de plomb	0k,385

5° *Galène.* — Echantillon remis par M. le général Poizat.

Plomb	55,63 p. 100
Argent à la tonne de plomb	0k,598

6° *Minerai de zinc.* — Echantillon remis par M. Scheffer, et provenant de l'Ouarsenis.

Carbonate de zinc	6,28
Silicate de zinc	61,42
Gangue ferrugineuse	32,30
	100,00
Zinc métallique	26,60

§ 2. Combustibles.

1° *Charbon* de Bou Saada remis par M. Pinard.

Carbone fixe	44,50
Matières volatiles	48,50
Cendres	7,00
	100,00
Pouvoir calorifique	7466

§ 3. Engrais.

1° à 3° *Guano.* — Echantillons remis par M. Spire (1,2 provenant du Bou Zigza).

	1	2	3
Eau	23,80	52,00	19,25
Matières terreuses (argilo-siliceuses)	9,20	10,00	10,80
Matières organiques	35,20	28,00	32,50
Phosphates de chaux et magnésie	12,10	2,30	14,15
Chlorures alcalins	5,80	1,00	14,83
Sulfates de chaux, soude et potasse	2,90	1,05	
Nitrates	»	traces	»
Carbonates	»	»	traces
Ammoniaque	7,80	2,85	6,25
Pertes	3,70	2,80	1,82
	100,00	100,00	100,00

4° *Guano*. — Echantillon remis par M. Spire et provenant du Bou Zigza.

Phosphate de chaux	7,65
Ammoniaque	7,20

5° *Guano*. — Echantillon remis par M. Spire et provenant du Bou Zigza.

Acide phosphorique	9,90
Azote	1,95

§ 4. Terres.

1° à 8°. — *Terres* de la Chiffa, propriété de M. Caffin.

	a	*a'*	*b*	*b'*	*c*	*c'*	*d*	*d'*
Sable quartzeux	45,10	45,20	43,10	41,80	38,80	37,60	36,90	42,20
Silice combinée	31,00	30,80	32,50	28,70	35,40	34,90	33,70	30,20
Alumine	10,20	12,60	14,30	13,70	14,80	16,60	18,00	15,80
Oxyde de fer	1,20	0,90	1,00	0,70	1,40	1,20	1,40	0,80
Chaux	2,80	2,20	1,40	1,70	0,40	2,00	0,55	0,48
Magnésie	1,10	1,30	0,82	1,30	1,40	0,65	0,12	0,89
Potasse et soude	0,09	0,05	0,07	1,10	»	0,08	»	»
Matières organiques	4,10	4,00	4,60	9,90	2,10	4,90	4,70	3,70
Acide sulfurique	0,08	0,02	0,05	0,07	»	»	»	»
Acide chlorhydrique	»	»	»	»	»	»	»	»
Acide carbonique	0,58	0,68	0,20	0,38	0,54	0,40	0,62	0,60
Acide phosphorique	»	»	»	»	»	»	»	0,17
Acide nitrique	»	»	»	»	»	»	»	»
Ammoniaque	»	»	»	»	»	»	»	0,09
Pertes	3,65	2,35	1,96	0,65	5,16	2,07	3,91	5,07
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

a Sol........ } au centre de la propriété.
a' Sous-sol.. } — —
b Sol........ } sous le canal.
b' Sous-sol .. } —
c Sol........ } vieille vigne.
c' Sous-sol.. } —
d Sol........ } vieille orangerie.
d' Sous-sol... } —

X. — LABORATOIRE DE CONSTANTINE.

Travaux de MM. POULET et SERGÈRE, gardes-mines (EXTRAIT).

§ 1. — MINERAIS.

1° *Galène* provenant de Beni-Messaoud, près Bougie : recherches faites par M. Dumesgnil.

Cette galène est presque pure. Elle n'est accompagnée que de 1 à 2 p. 100 de gangue environ.

Teneur en argent à la tonne de minerai : 646 gr.

2° *Galène* provenant de Aoucha, près Bougie : recherches faites par M. Morineau.

Cette galène est à larges facettes sans gangue.

Teneur en argent à la tonne de minerai : 360 gr.

3° *Galène* provenant des Ouled-Abdallah à 60 kilom. ouest de Bougie : remise par M. Germon.

L'échantillon remis est une galène pure ne présentant qu'un peu de fer hydroxydé à la surface. Cette galène est à petites facettes.

L'essai pour plomb a été fait par voie humide : il a donné

Pb... 0 gr., 81 pour 1 gramme.

L'essai pour argent a donné

	gr.
Pour 15 grammes minerai.....	0,0023 argent.
Plomb par tonne de minerai ...	810 kilog.
Argent d°............	153 grammes.
Argent par tonne de plomb	189 grammes.

4° *Minerais de zinc* remis par M. Germon, provenant tous du périmètre des Ouled-Zied, en instance de concession.

La méthode suivie pour le dosage du zinc a été la même que celle décrite dans le compte-rendu de l'année 1881. (*Annales des Mines*, 2e vol. de 1883, p. 186).

Nos des Minerais.	DÉTAIL des PROVENANCES.	TENEUR en zinc. p. 100	OBSERVATIONS MINÉRALOGIQUES
26.27.28	Selmoun N° 6.	26,1	Calcaire argileux. Cavernes tapissées de petits mamelons de zinc carbonaté.
35	Id.	33,3	Chaux carbonatée ferrifère. Cavernes tapissées de mamelons cristallins indéterminés.
36.40	Id.	30,2	Chaux carbonatée ferrifère et siliceuse, zinc non apparent.
63.64.65	Plateau Floua.........	18,9	Fer hydroxydé compact et chaux carbonatée ferrifère, zinc non apparent.
66	Id. puits (à l'orifice)..	42,6	Pâte calcaire et zinc hydrocarbonaté.
67.68	Id. id. 2 et 4m de prof.	27,9	Minerai carié, fer hydroxydé et calcaire, zinc non apparent.
69	Id. 6m.....	25,9	Minerai composé de couches de fer hydroxydé et de calcaire, zinc non apparent.
70	Id. 8m.....	18,2	Minerai composé de couches de fer hydroxydé et de calcaire, zinc non apparent.
71	Id. 9m.....	10,6	Minerai composé de couches de fer hydroxydé et de calcaire, zinc non apparent.
72	Id. 10m.....	8,7	Minerai composé de couches de fer hydroxydé et de calcaire, contient 1,5 p.100 de manganèse.
73	Id. 12m.....	54,0	Croûte de zinc hydrocarbonaté.
74	Id 13m.....	41,5	Fer hydroxydé avec croûtes de zinc hydrocarbonaté.
80	Ras Guemel N° 5......	28,8	Chaux carbonatée ferrifère, minerai caverneux, cavernes tapissées de mamelons de zinc hydrocarbonaté.
81	Id.	20,7	Chaux carbonatée ferrifère. Cassure à éclat gras.
82	Id.	2,9	Rognon d'hématite brune.
84.85	Id.	30,0	Chaux carbonatée ferrifère à cavernes comme le N° 80.
75.77.78	Ras Guemel N° 2.....	25,1	Chaux carbonatée ferrifère, zinc non apparent.
89.91	Chabet-ben-Zied point C	14,0	Fer hydroxydé et calcaire, zinc non apparent.
53	Id. D	23,2	Calcaire, zinc non apparent.
46.47.48	Id. E	21,3	Chaux carbonatée ferrifère, cavernes tapissées de petits cristaux de zinc carbonaté.
42.43.44	Id. G	11,6	Chaux carbonatée ferrifère compacte, zinc non apparent.
30	Teniet-El-Amra N° 3..	39,9	Calcaire haché, zinc non apparent.
31	Id.	39,9	Calcaire siliceux, minerai haché, zinc non apparent.
32	Id.	46,1	Rognons de zinc hydrocarbonaté et de calcaire.
33	Id.	41,0	Calcaire siliceux, minerai haché, présente une matière d'un blanc de craie, probablement du zinc hydrocarbonaté.
34	Id.	30,6	Calcaire siliceux, présente une matière blanche, comme le N° 33.

5° *Pyrites*. — Echantillons de pyrite cuivreuse et de pyrite de fer envoyés par M. Poujaud (Djidjelly), et provenant du bassin de l'Oued-Missia.

Les échantillons ont été divisés en trois catégories : la première comprend des portions de minerais oxydés ; la deuxième comprend des portions de minerais moitié oxydés et moitié sulfurés ; la troisième des portions nettement sulfurées. Cette distinction en trois parties s'est faite d'après la simple inspection minéralogique.

Le minerai de la 1re catégorie est friable, le cuivre y est à l'état de cuivre carbonaté bleu (azurite), non pas en masse continue, mais à l'état de mouches encastrées dans une masse argileuse facilement reconnaissable à son odeur ; c'est le résultat d'une altération due aux agents atmosphériques que l'on constate aux affleurements. La proportion approximative d'argile est indiquée par celle d'alumine dosée.

Les 2e et 3e catégories sont dures, compactes.

La cassure est violette, zébrée de veines d'un jaune doré. L'inspection minéralogique y fait à priori distinguer la pyrite de cuivre. La distinction entre les 2e et 3e catégories est peu appréciable, la 2e est tachée de petits nuages de cuivre carbonaté décelant un commencement d'altération de la pyrite. Cette altération est d'ailleurs légère. L'analyse de ces deux échantillons a donné des résultats peu différents.

Un quatrième échantillon a été également soumis à l'analyse ; ce minerai est de la pyrite martiale exempte de cuivre et de métaux fins, ainsi qu'il a été constaté par l'analyse.

Les résultats sont les suivants :

		1re Catég.	2e Catég.	3e Catég.
Peroxyde de fer		13,44	6,77	6,62
Alumine		8,94	0,15	0,16
Cuivre métallique		28,32	60,83	61,02
Métaux fins..	par tonne de minerai ...	0,00	0k,127	0k,157
	par tonne de cuivre métallique ...	»	0,207	0,259

Le triage du lot unique des échantillons de M. Poujaud en trois catégories avait pour but de rechercher l'influence de l'oxydation sur les parties sulfurées à l'égard de l'enrichissement ou de l'appauvrissement en métaux fins. L'avantage reste, comme on le voit, aux parties sulfurées.

6° *Minerais de fer Chatellain.* — Ces minerais sont situés autour de la concession du Filfila, à l'Est de Philippeville. Ils sont en partie exploités en ce moment par la Société de l'Halia Filfila.

Les analyses, ayant pour but de mettre en évidence la valeur industrielle de ces minerais de fer, ont été faites aussi complètes que possible, de manière à faire ressortir les qualités ou défauts que peuvent présenter ces minerais au point de vue minéralurgique.

Quatre échantillons différents ont été analysés : nous les désignons par les N°s 1, 2, 3, 4.

Le N° 1 est une variété mamelonnée : son éclat est demi-métallique, il est formé par des zones concentriques, suivant lesquelles la cassure se fait facilement, sa poussière est rouge, non attirable à l'aimant.

Le N° 2 se présente en masses amorphes sans aucune structure bien définie, sa cassure est irrégulière ; avant d'être réduit en poudre sa couleur est violette, ce qui décèle la présence du manganèse ; sa poussière est rouge ; non attirable à l'aimant.

Le N° 3 rappelle comme structure un mélange des deux précédents, la superposition en zones concentriques y est indécise, l'argile s'y trouve en quantité notable contrairement aux deux précédents, la densité de ce minerai est faible, il est très poreux, sa poussière est rouge brune, non attirable à l'aimant.

Le N° 4 est un minerai qui n'est autre que le N° 2 allié à une forte proportion d'argile.

Les résultats des essais sont les suivants :

	N° 1		N° 2		N° 3		N° 4	
Résidu insoluble aux acides. (Silice et silicates) pouvant se décomposer comme suit : Silice soluble dans les alcalis	1,84	2,94	1,42	4,24	1,82	4,04	0,22	10,34
Silice insoluble.	0,42		0,84		0,74		3,44	
Alumine.....	0,66		1,96		1,52		6,74	
Eau hygrométrique............	1,04		1,36		5,06		3,10	
Eau de combinaison...........	12,22		15,26		8,74		18,62	
Sesquioxyde de fer (Fe2O3)	77,36	Fer 54,15	76,04	Fer 53,23	72,08	Fer 50,45	54,20	Fer 37,94
Oxyde de manganèse (Mn3O4) .	0,70		1,48		2,78		0,92	
Alumine attaquée.............	5,28		1,40		7,00		12,44	
Soufre........................	Néant		Néant		Néant		Néant	
Phosphore (Ph)...............	Néant		Néant		0,011		0,027	

La dénomination à donner à ces minerais est celle de minerais de fer hydratés à gangue argileuse.

En somme, ces minerais donneront des fontes et des fers de bonne qualité, car ils sont exempts de soufre et de phosphore, ou à peu près ; il faut ajouter à cela le manganèse qui contribuera beaucoup à en augmenter la valeur.

§ 2. — Eaux.

1° *Eau* provenant de la source Aïn-Soudan, cote 901, près Hammam-Zaïd, environs de Souk-Ahras, remise par M. Abadie, pharmacien à Constantine.

Cette eau ne présente ni saveur ni odeur particulière. Le résidu fixe de l'évaporation de 1 litre a donné à l'analyse :

	Gr.
Silice..............................	0,0037
Chlore..............................	0,0599
Acide sulfurique (SO^3)...............	0,0295
Protoxyde de fer (FeO)...............	0,0053
Chaux..............................	0,0819
Magnésie..........................	0,0105
A reporter............	0,1908

Report..............	0,1908
Soude.............................	0,0991
Potasse...........................	0,0024
Acide carbonique des carbonates neutres.	0,0940
Acide carbonique libre..............	néant
Total......	0,3863
A déduire 1 équivalent d'oxygène par 1 équivalent de chlore..............	0,0149
	0,3714
Résidu fixe de l'évaporation de 1 litre..	0,3670

2° *Eau* de la source des bains de l'Oued-Athménia (Hammam Grous), sur la route de Constantine à Sétif, à 40 kilomètres de Constantine.

Les résultats donnés par l'analyse de la même eau inscrite sous le N° 5 au compte-rendu de 1881 (*Annales des mines*, 2e vol. de 1883, p. 191), sont annulés par la présente analyse, faite dans des conditions de plus grande exactitude.

L'eau nécessaire à l'analyse a été recueillie par nous-même, ce qui nous a permis de faire sur place quelques expériences. Cette eau sourd des calcaires à $0^m,80$ environ au dessus du niveau moyen du Rummel et à 2^m du lit de cet Oued. Le débit de la source est considérable. Le jour de notre visite la température de l'eau était de 41° dans la piscine qui sert de réservoir à cette source. La température extérieure de l'air était de 14°. La saveur de cette eau est douceâtre et ne présente rien de particulier. On ne sent aucune odeur dans l'enceinte de la piscine. Aucun gaz ne se dégage de l'eau, dont la limpidité n'est troublée que par des particules organiques dues aux nombreux bains que les malades viennent prendre dans cette piscine. Cette eau est neutre aux papiers rouge et bleu de tournesol. L'infusion de noix de galle ne donne pas dans cette eau une réation sensible du fer. Essayée avec une solution d'iode dans l'iodure de potassium en présence de l'amidon, cette eau ne donne pas trace d'acide sulfhydrique.

En résumé cette eau ne présente aucun caractère organolep-

tique particulier, elle n'est pas sensible aux réactifs, elle ne contient en dissolution comme gaz actif qu'un peu d'acide carbonique mis en évidence par l'analyse, acide carbonique que l'on doit considérer comme formant des bicarbonates plutôt que comme libre.

L'analyse a donné pour le résidu fixe de l'évaporation de 1 litre la composition suivante :

	gr.	
Silice	0,0310	
Chaux en dissolution dans 1 litre après ébullition	0,1821	gr. 0,2970.
Chaux d'un litre précipitée par l'ébullition	0,1149	
Magnésie	0,1830	
Strontiane	0,0060	
Protoxyde de fer	0,0090	
Soude	0,1441	
Lithine	0.0009	
Potasse	0,0036	
Chlore	0,2264	
Acide sulfurique	0,2939	
Acide carbonique des carbonates neutres	0,1910	
Total	1,3359	
A déduire 1 équivalent d'oxygène par 1 équivalent de chlore	0,0510	
	1,2849	
Résidu fixe de 1 litre	1,2750	
Différence	0,0099	
Acide carbonique total dans 1 litre d'eau	0,2185	
Acide carbonique des carbonates précipités par l'ébullition	0,1420	

La baryte, l'alumine, le manganèse et l'acide phosphorique, recherchés dans le résidu de l'évaporation de 10 litres, ont donné des résultats négatifs.

Dans le résidu de 20 litres d'eau évaporés en présence de carbonate de potasse pur, l'analyse a démontré la présence de traces non dosables d'iode. Dans le même résidu, le brome n'a donné que des résultats douteux.

Interprétation des résultats de l'analyse élémentaire :

L'interprétation des résultats de l'analyse élémentaire d'une eau restant encore une question indécise dans l'état actuel de la science, il est impossible de donner une interprétation rigoureuse des résultats de l'analyse élémentaire des eaux de Hammam-Grous. Cependant, en s'appuyant sur la quantité de chaux en dissolution dans 1 litre après ébullition et sur la quantité d'acide carbonique trouvée dans le précipité par ébullition de 1 litre d'eau, on peut faire les calculs suivants :

Sulfate de strontiane.

Strontiane trouvée...............	0,0060	0,0106 SrO, SO^3
Acide sulfurique correspondant..	0,0046	

Chlorure de calcium.

Chaux en dissolution dans 1 litre après ébullition

Chlore trouvé.................	0,2264	0,3540 $CaCl$.
Chaux correspondante	0,1787	
Calcium correspondant.........	0,1276	

Sulfate de chaux.

Reste chaux en dissolution dans 1 litre après ébullition........	0,0034	0,0082 CaO,SO^3.
Acide sulfurique correspondant ..	0,0048	

Carbonate de chaux.

Dans 1 litre chaux précipitée par l'ébullition.................	0,1149	0,2051 CaO,CO^2.
Acide carbonique correspondant .	0,0902	

Carbonate de magnésie.

Reste acide carbonique contenu dans le précipité par ébullition de 1 litre...................	0,0518	0,0988 MgO,CO^2.
Magnésie correspondante.......	0,0470	

Sulfate de magnésie.

Reste magnésie...............	0,0860	0,2580 MgO,SO^3.
Acide sulfurique correspondant...	0,1720	

Sulfate de soude.

Reste acide sulfurique..........	0,1125	0,1996 NaO,SO^3.
Soude correspondante..........	0,0871	

Carbonate de soude.

Reste soude..................	0,0570	0,0974 NaO,CO^2.
Acide carbonique correspondant..	0,0404	

Carbonate de potasse.

Potasse trouvée...............	0,0036	0,0055 KO,CO^2.
Acide carbonique correspondant..	0,0019	

Carbonate de lithine.

Lithine trouvée................	0,0009	0,0022 LiO,CO^2.
Acide carbonique correspondant..	0,0018	

Carbonate de fer.

Protoxyde de fer trouvé........	0,0090	0,0145 FeO,CO^2.
Acide carbonique correspondant..	0,0055	

Acide carbonique libre

ou plutôt engagé dans des bicarbonates..................... 0,0274

En admettant les calculs ci-dessus, le résidu fixe de 1 litre d'eau aurait pour composition :

	gr.
Silice	0,0810
Sulfate de strontiane	0,0106
» chaux	0,6082
» magnésie	0,2580
» soude	0,1996
Chlorure de calcium	0,8540
Carbonate de chaux	0,2051
» magnésie	0,0988
» soude	0,0974
» potasse	0,0055
» lithine	0,0022
» protoxyde de fer	0,0145
	1,2849
Acide carbonique libre ou plutôt engagé dans des bicarbonates	0,0274

La densité de cette eau a été trouvée, dans une précédente analyse, de 1,009 à une température de 29°.

3° à 9°. *Échantillons d'eau* remis par la Compagnie de l'Est algérien.

a. Eau de Mansourah, ligne de Sétif à Alger, entre Bordj-bou-Arreridj et les Bibans.

b. Eau de la plaine d'El-Mahder, au pied du Djébel-Touda, piquet 575 de la ligne d'El-Guerrah à Batna.

Cette eau ne présente ni odeur ni saveur particulière. Elle est limpide.

c. Eau de Aïn-Fourchy, maison de garde au piquet 157.

Cette eau répandait une légère odeur d'acide sulfhydrique.

d. Eau du puits au piquet 532+67 à 8^{m} de l'axe de la voie.

Cette eau ne présentait aucune odeur ni saveur.

e. Eau provenant de Bordj-bou-Arreridj.

Les bouteilles contenant cette eau présentaient toutes un dépôt

d'apparence ocreuse en quantité variable avec la bouteille. Ce dépôt est formé en majeure partie de matières organiques qui semblent être d'origine étrangère à l'eau. Il résulte de là une certaine incertitude dans l'analyse de cette eau.

f. Eau de Aïn-M'lila.

Cette eau a une saveur salée.

La différence finale (0gr.,0617) représente en partie l'acide carbonique non dosé.

g. Eau de la Fontaine-Chaude, sur la route de Batna.

Cette eau ne présente rien de particulier comme odeur ni saveur.

	a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Résidu fixe par litre. (obtenu par dessication à 180°.)	2,8586	1,1226	0,3486	1,0872	0,8970	1,4203	1,1124
Acide carbonique...	0,4686	0,2036	0,1005	0,1985	0,2554	non dosé	0,1770
Id. sulfurique...	0,3708	0,2801	0,0302	0,2362	0,1201	0,2472	0,2018
Silice (matières insolubles)..........	0,0141	0,0069	0,0010	»	»	»	traces
Chlore	0,7120	0,1261	0,0375	0,2146	0,0640	0,5152	0,2472
Protoxyde de fer....	0,0141	0,0081	0,0159	0,0117	0,0081	0,0070	traces
Chaux..............	0,3509	0,1072	0,0832	0,1071	0,1109	0,0853	0,1756
Magnésie...........	0,1109	0,1263	0,0082	0,0937	0,0518	0,0307	0,1088
Alcalis	0,9994	0,2948	0,0840	0,2798	0,3061	0,5872	0,2587
	(quantité notable de potasse)	(traces importantes de potasse)	(traces de potasse)	(quantité notable de potasse)	(quantité notable de potasse)	(quantité notable de potasse)	(quantité notable de potasse)
Total.......	3,0408	1,1551	0,3635	1,1316	0,9164	1,4726	1,1691
A déduire 1 équivalent d'oxygène pour 1 équiv. de chlore.	0,1600	0,0284	0,0084	0,0484	0,0144	0,1140	0,0557
	2,8808	1,1267	0,3551	1,0832	0,9020	1,3586	1,1134
Résidu fixe trouvé directement......	2,8586	1,1226	0,3486	1,0872	0,8970	1,4203	1,1124
Différence......	0,0222	0,0041	0,0065	0,0040	0,0050	0,0617	0,0010

10°. *Eau* provenant d'une nappe découverte nouvellement par un sondage près Souk-Ahras.

Cette eau ne présente ni odeur ni saveur particulière. Elle est limpide et se conserve sans altération, ce qui indique l'absence de matières organiques.

Résidu fixe de 1 litre desséché à 180° : 1gr, 4052.

L'analyse de ce résidu fixe a donné :

	gr.
Silice	traces.
Chlore	0,0435
Acide sulfurique	0,7287
Acide carbonique des carbonates neutres.	0,0975
Protoxyde de fer	0,0075
Chaux	0,4705
Magnésie	0,0788
Soude	0,0868
Potasse	traces.
	1,5081
A déduire 1 équivalent oxygène pour 1 équivalent de chlore	0,0980
	1,4101

Cette eau est assez fortement séléniteuse, mais malgré céla elle peut être considérée comme potable, pour le pays.

11°. *Eau* envoyée de Sétif par M. Guelpa; cette eau provient d'une source gazeuse située sur la rive gauche de l'Oued-Agrioun à la sortie du Chabet-El-Akra.

Elle est limpide, incolore; par agitation on provoque au sein de la masse la formation de nombreuses bulles de gaz. Elle n'a aucune odeur particulière. Sa saveur est légèrement amère, on y discerne particulièrement celle du fer (saveur styptique).

L'analyse élémentaire est la suivante :

	gr.
Résidu fixe à 180°	3,405
Acide carbonique combiné	1,928
Peroxyde de fer	0,039
Chaux	0,644
Magnésie	0,454
Potasse	0,018
Soude	0,263
Acide sulfurique	0,059
Chlore	traces
	3,405

L'acide carbonique libre n'a pas été dosé à cause des pertes certaines qui ont eu lieu pendant le transport, pertes mises en évidence quand les bouteilles ont été débouchées (faible explosion).

Néanmoins, à l'arrivée au laboratoire, les pertes en gaz n'avaient pas été assez fortes pour déterminer un précipité dans le liquide.

Les résultats peuvent être interprétés de la manière suivante :

	gr.
Sesquioxyde de fer	0,039
Carbonate de chaux	0,941
Bicarbonate de chaux	0,201
Sulfate de chaux	0,101
Bicarbonate de magnésie	1,452
Carbonate de potasse	0,027
Bicarbonate de soude	0,636
	3,397

12° à 14°. *Eaux souterraines* de Batna envoyées par M. Auvergne, adjoint au Maire de Batna.

Les eaux potables de la ville de Batna ont trois origines différentes :

a. Puits ordinaire alimenté par une nappe d'infiltration voisine de la surface.

b. Sondage ancien, fournissant au moyen d'une pompe un mélange des eaux de la dite nappe précédente avec des eaux artésiennes du terrain postpliocène lacustre.

c. Sondage récent, fournissant au moyen d'une pompe un mélange des deux nappes précédentes avec des eaux artésiennes du terrain secondaire.

Les échantillons de ces trois eaux, recueillis et envoyés par M. Auvergne, ont donné à l'analyse les résultats consignés au tableau ci-après. Il ressort de ces résultats que ces eaux, qui se présentent avec une parfaite limpidité, sans odeur ni saveur appréciables, sont de bonnes eaux potables.

Celle du puits *a* est seule donnée telle qu'elle est à l'état naturel, et les deux autres, *b* et *c*, étant des mélanges binaires et ternaires comme il a été indiqué ci-dessus, il peut être intéressant de se faire une idée approchée de la composition des eaux artésiennes postpliocènes et des eaux artésiennes secondaires considérées isolément.

En ce qui concerde les prémières, on peut remarquer qu'au moment de l'exécution du sondage leur température a été reconnue de 17° et que la température de la nappe d'infiltration de Batna peut être considérée comme étant de 13°. M. Auvergne ayant mesuré sur le mélange actuellement débité par la pompe une température de 15°, on peut en conclure que les deux eaux sont mélangées en proportions à peu près égales, et on en déduit la composition indiquée par la colonne *d* du tableau ci-dessous.

En ce qui concerne les eaux artésiennes secondaires, il faut remarquer que, d'après l'ensemble des faits observés pendant le sondage ainsi que pendant les expériences d'épuisement faites à la suite de ce sondage, on peut considérer l'apport de la nappe d'infiltration comme négligeable et celui des eaux postpliocènes comme atteignant tout au plus un tiers du débit total; en admettant cette dernière proportion, on trouve la composition indiquée par la colonne *e* du tableau ci-dessous.

	a Puits	*b* Sondage ancien	*c* Sondage récent	*d* Eaux artésiennes postpliocènes	*e* Eaux artésiennes secondaires
Sesquioxyde de fer	0,033	0,041	0,071	»	0,0615
Chaux	0,117	0,116	0,140	0,094	0,127
Magnésie	0,039	0,047	0,058	0,020	0,0605
Potasse	0,028	0,026	0,052	0,0040	0,037
Soude	0,048	0,053	0,0238	0,0722	0,0434
Acide sulfurique	0,0074	0,0096	0,011	0,0038	0,0125
Acide chlorhydrique	0,011	0,015	0,025	»	0,0225
Acide carbonique combiné	0,260	0,250	0,290	0,280	0,260
Total	0,5484	0,5576	0,6708	0,424	0,624
Résidu à 180° trouvé directement	0,5520	0,5680	0,6710		

En ce qui concerne les eaux artésiennes secondaires, la proportion de 1/2 pour leur intervention dans la composition du mélange étant un maximum, on peut dire que la composition sera comprise entre *c* et *e*.

Bien que ces eaux soient plus chargées que les eaux artésiennes postpliocènes, elles sont encore plus pures que celles de la nappe d'infiltration, qui constituent cependant une excellente eau potable, et par conséquent, si on se décide à pénétrer davantage dans les terrains secondaires pour augmenter les ressources de la ville de Batna, on peut espérer que l'on continuera à rencontrer d'excellentes eaux potables.

XI. — LABORATOIRE D'ORAN.

Travaux de M. PONCELET, garde-mines (Extrait).

§ 1. — Minerais.

1° *Minerai de fer* provenant de Tazout, remis par M. Baills, ingénieur des mines.

Ce minerai est de l'hématite rouge, parsemée de paillettes d'oligiste micacé. Gangue calcaire.

Peroxyde de fer	69,39	(Fe=48,57).
Peroxyde de manganèse	3,47	
Silice et sable	1,10	
Chaux	7,28	
Magnésie	0,32	
Acide carbonique et eau	18,20	
Total	99,76	

2° et 3°. *Minerais de cuivre* remis par M. Baills et provenant des recherches Sartor Barber et Sgitcowith.

a. Echantillon constitué par une roche siliceuse et ferrugineuse imprégnée de plaquettes de carbonates bleu et vert de cuivre et de carbonate de chaux.

Une prise d'essai faite sur des morceaux provenant des filons 1, 2 et 3 a donné :

Cuivre 25,8 p. 100.

b. Echantillon formé d'un mélange de peroxyde de fer et de pyrite cuivreuse, avec gangue siliceuse. Une prise d'essai a donné :

Cuivre 58,4 p. 100.

4° à 7° *Minerai de plomb* remis par M. Baills.

a. Provenant des recherches Flinois, à Saïda. Gangue dolomitique.

b. Galène, provenant des recherches Sartor et Cie, à Saïda. Gangue dolomitique.

c. Galène, provenant des recherches Sartor et Cie, à Embarka. Gangue dolomitique.

d. Galène, provenant des recherches du sieur Cerrato.

On a opéré, pour ces quatre échantillons, sur le minerai trié à la main.

	a	*b*	*c*	*d*
Plomb p. 100	26,75	34,95	60,85	46,72
	gr.	gr.	gr.	gr.
Argent par tonne de plomb d'œuvre	370	286	165	235

§ 2. — Eaux.

1° à 3°. *Eaux* provenant du Dahra, remises par M. Baills.

a. Source de Sidi-Brahim.

Cette eau est remarquable par sa forte minéralisation et sa teneur en soufre. Elle doit fixer spécialement l'attention au point de vue médical.

b. Source d'Ain-Kaalha.

La bouteille contient un dépôt adhérent. Le résidu fixe par le litre serait bien plus élevé pour de l'eau évaporée à la source même.

c. Source d'Aïn-Malah.

	a	*b*	*c*
	gr.	gr.	gr.
Résidu fixe par litre.......	21,105	7,850	4,025
Chlore..................	0,127	2,113	1,680
Acide sulfurique..........	8,940	1,536	1,275
Soufre..................	7,780	0,01278	

4° *Résidu* provenant de la source d'Aïn-Kaalha. — Le résidu est jaunâtre. On y remarque des débris végétaux. Il contient 37,77 p. 100 de soufre.

5° *Roche* sédimentaire bitumineuse d'où émerge la source ci-dessus. — Elle donne par calcination une forte odeur bitumineuse. La perte par calcination est de 15 p. 100 représentant les matières volatiles et combustibles.

§ 3. — Divers.

1° *Incrustations* des chaudières de l'usine élevatoire de Brédéah (remises par M. Baills).

Sulfate de chaux....................	5,90
Carbonate de chaux..................	39,50
Magnésie non combinée...............	5,00
Carbonate de magnésie...............	49,50
Fer.................................	traces
	99,90

NOTE

SUR LA

THÉORIE DES BOBINES D'EXTRACTION

Par M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE, Membre de l'Institut,
Ingénieur en chef des mines,
Professeur d'exploitation à l'École supérieure des mines.

---

1. Combes a présenté la théorie des bobines d'enroulement pour l'extraction des mines à l'aide d'une analyse ingénieuse, depuis longtemps devenue classique, et qui peut être considérée comme l'un des meilleurs modèles de l'application du calcul à l'étude d'une question de mécanique. Mais les formules auxquelles il est parvenu, pour exprimer les rayons d'enroulement, sont d'une grande complication. Cette circonstance, à la vérité, n'offre qu'une importance secondaire en ce qui concerne l'application numérique à un cas donné, pour lequel les divers paramètres auront reçu des valeurs déterminées et définitives. Mais elle est, en revanche, de nature à rendre très pénibles les tâtonnements destinés à permettre de choisir, en connaissance de cause, entre différentes combinaisons dans l'établissement d'un projet d'appareil d'extraction.

Il m'a semblé intéressant, pour cette raison, de discerner le sens de la variation que subissent les rayons, lorsque chacun des paramètres vient à prendre diverses valeurs. Cette appréciation, assez facile pour quelques-uns d'entre eux, est beaucoup plus complexe et plus dis-

simulée pour d'autres. C'est sans doute pour ce motif qu'elle n'a pas encore, à ma connaissance, été mise en évidence. J'ai réussi à le faire à l'aide d'un choix convenable de variable auxiliaire, et tel est l'objet de la présente note.

Si nous désignons par

h la profondeur du puits,
e l'épaisseur du câble,
p son poids par mètre courant,
Q le poids utile de l'enlevage,
q son poids mort,

qui forment les données du problème, et par

r le rayon initial d'enroulement,
R le rayon final,
ρ le rayon à la rencontre des cages,

qui en sont les inconnues, ce dernier sera fourni par l'équation bicarrée :

$$128\pi^2 p\rho^4 - 32\pi e(Q + 2q + ph)\rho^2 - pe^2h^2 = 0, \qquad (1)$$

qui a toujours une racine réelle et positive, et n'en a qu'une seule.

On en déduit ensuite, par la substitution de cette quantité dans les formules suivantes, les valeurs du rayon initial et du rayon final d'enroulement :

$$r = \rho - \frac{eh}{4\pi\rho}, \quad R = \rho + \frac{eh}{4\pi\rho}. \qquad (2)$$

Telle est la solution de Combes (*Annales des mines*, 3ᵉ série, tome XI, page 55. — *Traité de l'exploitation des mines*, tome III, pages 197 et 198).

2. Nous la mettrons sous une forme plus simple, en introduisant le symbole auxiliaire :

$$x = \frac{4\pi\rho^2}{eh}.$$

On tire de là :

$$\rho = \sqrt{\frac{ehx}{4\pi}}, \qquad (3)$$

et, par cette substitution, la relation (1) devient :

$$x^2 - \frac{Q + 2q + ph}{ph}x - \frac{1}{8} = 0, \qquad (4)$$

équation du second degré qui a toujours une racine positive et une seule. Les formules (2) prennent de leur côté la forme très simple :

$$r = \rho\left(1 - \frac{1}{x}\right), \quad R = \rho\left(1 + \frac{1}{x}\right), \qquad (5)$$

en fonction de cette racine.

En ce qui concerne, en premier lieu, l'épaisseur du câble, nous remarquerons que l'égalité (4) ne la renferme pas. La valeur de x en est donc indépendante, et, par suite, e se trouve mis en évidence dans l'expression (3), ce qui montre que le rayon à la rencontre, et, par conséquent (5) *le rayon initial* r *et le rayon final* R, *varient proportionnellement à la racine carrée de cette épaisseur.*

Ils seront, d'après cela, supérieurs, toutes choses égales d'ailleurs, si l'on substitue, comme on l'a quelquefois fait depuis peu en employant une bobine suffisamment étroite, un câble rond au câble plat, qui présente moins de sécurité pour l'égalité de tension dans toutes ses parties. Il est clair, en effet, que le diamètre du câble rond sera plus grand que celui de chacune des aussières du câble plat équivalent, lequel constitue l'épaisseur de ce dernier.

3. En second lieu, il est évident que la racine positive x de l'équation (4) croît avec l'unique coefficient de cette équation :

$$\frac{Q + 2q}{ph} + 1,$$

c'est-à-dire avec le poids mort q et le poids utile Q, mais en sens inverse du poids p du câble par mètre courant. Or l'expression (5) du rayon initial devient, si l'on y substitue la valeur (3) :

$$r = \sqrt{\frac{eh}{4\pi}}\left(\sqrt{x} - \frac{1}{\sqrt{x}}\right), \tag{6}$$

et montre que r grandit lui-même avec x. On reconnaît donc, en ce qui concerne les poids, que *le rayon initial croît avec le poids mort et le poids utile, mais qu'il décroît en sens inverse de celui de l'unité de longueur du câble.*

4. Il reste à découvrir l'influence exercée par la hauteur du puits; mais celle-ci est beaucoup plus compliquée, car, à l'inverse de ce qui s'est produit pour les poids, h figure en évidence dans l'expression (6), en même temps qu'implicitement par l'intermédiaire de x.

Pour la dégager, nous commencerons par écrire l'équation (4) de la manière suivante :

$$h = \frac{Q+2q}{p} \cdot \frac{x}{x^2 - x - \frac{1}{8}}, \tag{7}$$

et l'expression (3) sous la forme :

$$\rho = \sqrt{\frac{(Q+2q)e}{4\pi\rho}} \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2 - x - \frac{1}{8}}}. \tag{8}$$

Enfin la formule (5) :

$$r = \rho\,\frac{x-1}{x},$$

nous donne de même :

$$r = \sqrt{\frac{(Q+2q)e}{4\pi p}} \cdot \frac{x-1}{\sqrt{x^2 - x - \frac{1}{8}}}. \tag{9}$$

De cette manière, la hauteur h et le rayon initial r se

trouvent exprimés l'un et l'autre (7 et 9) en fonction de la variable auxiliaire x, d'une manière plus facile à discuter que l'expression directe que l'on pourrait former de r en fonction de h, dans laquelle l'appréciation du sens de la variation deviendrait à peu près inextricable.

5. Avant tout, il faut que r soit réel, et, pour cela, que la valeur de x reste en dehors de l'intervalle compris entre les deux racines de l'équation :

$$x^2 - x - \frac{1}{8} = 0, \tag{10}$$

lesquelles sont de signes contraires. Ce trinome devenant dès lors positif, et h devant l'être de son côté (7), il faudra qu'il en soit de même de x. Cette quantité ne peut donc être prise, en définitive, que dans l'intervalle supérieur à la racine positive de l'équation (10) :

$$x > \frac{1}{2}\left(1 + \sqrt{\frac{3}{2}}\right),$$

c'est-à-dire :

$$x > 1{,}1123... \tag{11}$$

Si nous mettons actuellement l'expression (7) sous la forme :

$$h = \frac{Q+2q}{p} \cdot \frac{1}{x - 1 - \frac{1}{8x}},$$

il devient évident que h, d'abord nul, lorsque x est infini, s'accroît à mesure que cette variable diminue.

On a, d'un autre côté, en différentiant l'équation (9) :

$$\frac{dr}{dx} = \sqrt{\frac{(Q+2q)e}{4\pi p}} \cdot \frac{x - \frac{5}{4}}{\left(x^2 - x - \frac{1}{8}\right)^{\frac{3}{2}}}.$$

Tant que x reste supérieur à 1,25 cette dérivée est positive, ce qui montre que r varie en même sens que x, et, par suite, en sens contraire de h. L'inverse se produit pour l'intervalle compris entre la valeur 1,25 et 1,11.

Ainsi donc, si nous prenons comme point de départ :

$$x' = \infty, \quad h' = 0, \quad r' = \sqrt{\frac{(Q+2q)e}{4\pi p}};$$

le rayon décroît, lorsque la hauteur augmente. Il atteint, pour $x'' = \frac{5}{4}$, son minimum r'' pour la profondeur h'' :

$$x'' = 1{,}25, \quad h'' = \frac{20}{3}\cdot\frac{Q+2q}{p}, \quad r'' = \sqrt{\frac{(Q+2q)e}{12\pi p}}; \qquad (12)$$

et, par cette variation, se réduit presque de moitié :

$$\frac{r''}{r'} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0{,}5773...$$

A partir de ce moment, le rayon se remet à croître en même temps que la profondeur, et tous les deux deviennent ensemble infinis, pour la valeur (11) :

$$x''' = 1{,}11, \quad h''' = \infty, \quad r''' = \infty.$$

Telle est la loi *théorique* de la variation cherchée.

6. Mais la *pratique* ne peut naturellement réaliser qu'une partie de cette amplitude. Or beaucoup de constructeurs déterminent le poids p de l'unité de longueur du câble destiné à un enlevage $Q+q$, par la condition que la charge totale $Q+q+ph$ de sa section supérieure soit un certain multiple H, dont le choix est dicté par la prudence, de ce même poids p par mètre courant :

$$Q+q+ph = pH. \qquad (13)$$

C'est sous cette forme que sont présentées, par exemple, la règle de Cabany et celles qui ont été formulées

par l'*Oberbergamt* de Dortmund. On tire de là :

$$p = \frac{Q+q}{H-h}.$$

D'après cela, on peut mettre la profondeur h'' (12) qui correspond au minimum r'' du rayon, sous la forme :

$$h'' = \frac{20}{3}\frac{Q+2q}{Q+q}(H-h).$$

Cherchons maintenant la condition pour que cette hauteur soit supérieure à la profondeur réelle h du puits ; en d'autres termes, pour que ce minimum ne puisse être effectivement atteint. Il suffira, pour cela, de poser :

$$\frac{20}{3}\frac{Q+2q}{Q+q}(H-h) > h,$$

d'où l'on tire :

$$h < \frac{20(Q+2q)}{23Q+43q}H.$$

ou, sous une forme équivalente :

$$\frac{h}{H} < \frac{20}{23} + \frac{60}{989+529\frac{Q}{q}}.$$

Il est clair que le second membre décroît continuellement avec le rapport $\frac{q}{Q}$ et qu'il atteint par suite, pour $\frac{q}{Q}=0$, son minimum $\frac{20}{23}$. Il suffit donc, *à fortiori*, que l'on ait :

$$\frac{h}{H} < \frac{20}{23}.$$

Si, par exemple, on se plaçait exactement à cette limite :

$$\frac{h}{H} = \frac{20}{23},$$

il s'ensuivrait (13) :

$$Q+q = p(H-h) = \frac{3}{20}\,ph,$$

et le poids du câble ph serait déjà $\frac{20}{3}$ ou 6,67 fois celui de l'enlevage $Q+q$, ce qui est inadmissible.

Concluons donc en disant qu'*en réalité* le minimum r'' ne saurait être atteint, et que *le rayon initial décroît toujours quand la hauteur augmente.*

De plus, *toute l'importance numérique de cette variation s'épuise dès les faibles profondeurs*, et les changements sont déjà devenus presque insensibles, lors même que l'on se trouve encore à une assez grande distance de h''. C'est ce qui résulte avec évidence de l'échelle suivante :

$\frac{h}{h''}$	$\frac{r}{r'}$	x
0,00	1,00	∞
0,16	0,73	2
0,36	0,63	$\frac{3}{2}$
0,53	0,60	$\frac{11}{8}$
1,00	0,58	$\frac{5}{4}$

Elle montre qu'en arrivant à la moitié de la profondeur limite h'', on a déjà parcouru les 0,97 de la variation totale du rayon initial, lequel peut être, à partir de là, considéré comme stationnaire. On en a même déjà effectué à peu près les trois quarts, lorsque l'on n'est encore qu'au septième de cette profondeur limite.

7. Si nous envisageons de même le rayon final R, je commencerai par rappeler (§ 2) qu'*il varie proportionnellement à la racine carrée de l'épaisseur du câble.*

En second lieu, si l'on met son expression (5) sous la forme :

$$R = \sqrt{\frac{eh}{4\pi}}\left(\sqrt{x} + \frac{1}{\sqrt{x}}\right),$$

on voit qu'elle commence par être décroissante, lorsque x diminue à partir de l'infini. Elle ne saurait donc recommencer à croître qu'après avoir franchi son minimum. Or l'on sait que ce minimum de la somme de deux termes dont le produit est constant, correspond à leur égalité : $x = 1$. Mais comme x ne peut, ainsi que nous l'avons reconnu, s'abaisser au-dessous de 1,11(11), il s'ensuit que l'on ne saurait atteindre cette phase de décroissance de R. Concluons donc qu'*en réalité le rayon final varie toujours en même sens que* x, *c'est-à-dire que le poids utile* Q *et le poids mort* q, *mais en sens inverse du poids* p *de l'unité de longueur du câble.*

Quant à l'influence de h, nous la déterminerons en différentiant la formule suivante (5 et 8) :

$$R = \sqrt{\frac{(Q+2q)e}{4\pi p}} \cdot \frac{x+1}{\sqrt{x^2 - x - \frac{1}{8}}}$$

ce qui donne :

$$\frac{dR}{dx} = \sqrt{\frac{(Q+2q)e}{64\pi p}} \cdot \frac{\frac{3}{16} - x}{\left(x^2 - x - \frac{1}{8}\right)^{\frac{3}{2}}},$$

valeur essentiellement négative, puisque x ne peut s'abaisser au-dessous de 1,11 (11). *Le rayon final varie donc en sens contraire de* x *et, par suite, en même sens que la profondeur* h.

On voit ainsi, en définitive, que, dans les conditions de la pratique, l'influence de la hauteur s'exerce en des sens contraires sur les deux rayons extrêmes de l'enroulement.

RAPPORT

PRÉSENTÉ A LA

COMMISSION CENTRALE DES MACHINES A VAPEUR

AU NOM DE LA SOUS-COMMISSION (*)

CHARGÉE DES ÉTUDES ET EXPÉRIENCES

RELATIVES A L'EAU SURCHAUFFÉE

Par M. HIRSCH, Ingénieur en chef des ponts et chaussées.

M. le commandant Trève a présenté, le 9 avril 1883, à l'Académie des sciences, une Note sur divers moyens propres à éviter les explosions des générateurs de vapeur. Il attribue, dans cette Note, un grand nombre d'explosions de générateurs à un état particulier de l'eau qu'ils contiennent, état connu sous le nom de *surchauffe*.

M. le Ministre des travaux publics ayant invité la Commission centrale des machines à vapeur à examiner les procédés proposés par M. le commandant Trève, celle-ci, dans sa séance du 24 avril 1883, après un examen

---

(*) Cette Sous-Commission était composée de :
MM. Tresca, président, Forquenot, Hirsch, Peschart d'Ambly, Luuyt, rapporteur de la Commission centrale.
Ultérieurement, M. Peschart d'Ambly a été remplacé par M. Solier, directeur des constructions navales au Ministère de la marine, et M. l'ingénieur en chef des mines Linder a été appelé à faire partie de la Sous-Commission.

général de la question qui lui était posée, et adoptant les propositions de son rapporteur, a constitué une Sous-Commission, avec mission de procéder aux études et expériences nécessaires, et de préparer un rapport.

La Sous-Commission s'est mise en rapport avec M. le commandant Trève; elle a entendu les explications de M. Gernez, qui a bien voulu reproduire devant elle quelques expériences relatives aux liquides surchauffés; elle a consulté les écrits des principaux auteurs qui ont étudié la matière. Enfin elle a elle-même recueilli de nombreux renseignements et organisé des observations et expériences.

Le présent rapport a pour objet de faire connaître les résultats de ces études.

Théorie de M. le commandant Trève. — Il convient tout d'abord de résumer les documents qui ont servi de point de départ à ces travaux.

M. Trève a publié, dans les Comptes-rendus de l'Académie des sciences, deux Notes sur le sujet qui nous occupe; ces Notes ont été l'une et l'autre présentées par M. Dumas, l'une dans la séance du 18 septembre 1882, l'autre dans la séance du 9 avril 1883; en outre, M. Trève a remis, le 23 avril 1883, une Note sur le même sujet à M. le rapporteur, qui l'a communiquée à la Commission centrale dans sa séance du 24 avril.

La théorie proposée par M. le commandant Trève peut se résumer en quelques lignes, textuellement extraites des Notes ci-dessus :

« Quand un liquide est entièrement privé d'air par une « longue ébullition, il se surchauffe, c'est-à-dire que sa « température peut s'élever de 30 à 40° au-dessus du « point normal d'ébullition (*Note du* 18 *septembre* 1882).

« Voici une machine à vapeur qui, dans la journée, « marche à 6 atmosphères.

« Les ouvriers quittent l'usine à 7 heures; vers 6 « heures, le chauffeur laisse tomber ses feux et, après « avoir fait le plein, quitte sa machine avec quatre atmo- « sphères au manomètre.

« De retour le lendemain matin, à 5h30, il retrouve « généralement le manomètre à 1atm,5 ou 2 atmosphères, « avec un beau niveau d'eau; que fait-il? Il profite de la « chaleur conservée, qui représente telle dépense de com- « bustible; en chauffeur économe, il l'utilise et pousse « ses feux pour le retour des ouvriers à 7 heures, sans « se douter des périls que recèle cette eau, qui a *bouil-* « *lauté* toute la nuit. Il n'alimente jamais ses chaudières, « puisqu'elles sont à *bon niveau*. C'est dire qu'il prépare, « inconsciemment, les conditions les plus favorables à la « naissance de la surchauffe et, partant, à une explosion. « En effet, cette eau chaude, qu'il retrouve le matin, s'est « nécessairement dépouillée, par l'ébullition antérieure, « de l'air qu'elle contenait en dissolution.

« Dans cet état, elle va donc emmagasiner de la cha- « leur, sans pouvoir la restituer sous forme de vapeur. « *C'est une eau devenue dangereuse.*

« En d'autres termes, cette eau va pouvoir se *sur-* « *chauffer* et, survienne incidemment l'une de ces nom- « breuses causes, donnant naissance à ces surfaces « d'évaporation, que MM. Donny et Gernez ont si bien « étudiées et décrites, il se produit une soudaine et ter- « rible explosion, attribuée le plus souvent encore à des « *causes inconnues*.

« Il reste établi que, en dehors de ces grossières « fautes d'un manque d'eau et d'un encrassement des « chaudières, c'est à la *surchauffe* qu'il faut recourir « pour expliquer la plupart des nombreuses explosions « de ces dernières années.

« Afin de prévenir le retour de ces désastreuses explo- « sions, nous recommandons finalement :

« 1° A terre comme à bord, l'emploi du thermo-mano-
« mètre et une alimentation méthodique, basée sur cet
« instrument de contrôle ;

« 2° A terre, ainsi que nous l'avons déjà dit, le tube à
« air, avec manomètre et compteur. L'action des feuilles
« de zinc n'est pas à négliger (*Note du* 9 *avril* 1883). »

Définition de la surchauffe. — Ainsi M. Trève attribue la plupart des explosions à cet état de l'eau que l'on appelle la *surchauffe* ; dans l'état de surchauffe, le liquide se trouve à une température supérieure à la température de vaporisation correspondant à la pression à laquelle le liquide est soumis ; c'est un état d'équilibre éminemment instable ; si cet équilibre vient, pour une cause quelconque, à être rompu, la chaleur emmagasinée dans le liquide produit une vaporisation rapide, et, par suite, un accroissement de pression pouvant amener des accidents.

Remèdes proposés par M. Trève. — Pour prévenir ces accidents, M. Trève propose :

Le *thermo-manomètre*, thermomètre plongé dans l'eau, et accompagné d'une table des pressions de la vapeur saturée correspondant à chaque température ; si ce thermo-manomètre, comparé au manomètre, ne donne pas les mêmes indications, il y aura surchauffe et danger ;

Le *tube à godets*, tube en fer placé le long de l'arête inférieure de la chaudière, percé en dessous de trous munis de cupules ou godets : pour éviter la surchauffe, on injecte, par ce tube, de l'air à une pression supérieure à celle de la vapeur.

Il attribue en outre aux feuilles de zinc, que l'on dispose dans les chaudières marines, la propriété de produire un dégagement d'hydrogène, propre à empêcher la surchauffe.

Enfin, dans sa Note du 23 avril, M. Trève propose en-

core le moyen suivant : après un repos prolongé, et avant de pousser les feux, vider en partie la chaudière, et remplacer l'eau ainsi extraite par de l'eau froide et aérée.

Programme tracé à la Sous-Commission. — Les communications de M. Trève, rendues publiques par leur insertion dans les Comptes-rendus de l'Académie des sciences et dans un grand nombre de publications, appuyées de la notoriété de leur auteur et du nom vénéré de M. Dumas, qui les avait présentées, ont soulevé une grande émotion dans le monde des industriels et des ingénieurs. L'inquiétude était d'autant plus vive, que le phénomène de la surchauffe a été constaté dans des expériences incontestables, dues à des savants tels que MM. Donny, Dufour et Gernez ; que, de plus, la Note du 9 avril avait paru à la suite de l'explosion d'une chaudière à Marnaval, épouvantable catastrophe, qui avait fait de nombreuses victimes, et à laquelle M. Trève faisait évidemment allusion, en commençant sa Note par ces lignes :

« Six meurtrières explosions ont eu lieu, depuis ma Note du 18 septembre dernier. »

Il était du devoir de l'Administration de chercher à s'éclairer sur la gravité des dangers qui lui étaient signalés. C'est pourquoi elle a confié à la Commission centrale des machines à vapeur la tâche d'étudier cette question.

Quant au programme des études auxquelles la Sous-Commission avait à se livrer, il est indiqué dans les conclusions proposées par le rapporteur, et adoptées par la Commission centrale dans sa séance du 24 avril 1883 :

« Nous avons donc à étudier :

« 1° Les conditions de production de la surchauffe ;

« 2° Les conditions qui l'empêchent de se produire ou « la détruisent à sa naissance.

« La Commission centrale accueillera et recherchera « avec le plus grand intérêt toutes les données se rap- « portant à cette importante question. »

Explosion de Marnaval. — La Sous-Commission avait déjà commencé ses travaux, et soumis à un examen général les graves questions qui lui étaient proposées, lorsque la catastrophe de Marnaval fut apportée à la Commission centrale, et discutée dans la séance du 22 mai 1883. Il ne sera pas inutile de résumer cette affaire.

L'accident de Marnaval (*) eut lieu le 31 mars 1883. Une des nombreuses chaudières des forges de Marnaval (Haute-Marne) éclata, en remplissant l'usine de débris brûlants et de torrents de vapeur; il y eut 91 victimes: 28 morts et 63 blessés.

La chaudière qui a fait explosion est une chaudière verticale; elle est chauffée, non pas par un foyer spécial, mais par les flammes perdues de trois fours à puddler, un four double et deux fours simples. Elle est reliée à la conduite générale de vapeur de l'usine, laquelle reçoit la vapeur de dix-sept chaudières, et la distribue à de nombreuses machines.

Au moment où cette affaire venait en discussion, la Commission centrale était, depuis deux mois, en possession des communications de M. le commandant Trève; elle eut donc le soin d'examiner avec attention si l'accident de Marnaval ne pouvait pas être attribué à la surchauffe. La chaudière a fait explosion à 8 heures du matin, quelque temps après le changement de poste des ouvriers. Elle avait fourni de la vapeur toute la nuit. Au moment de l'explosion, tous les laminoirs étaient en action,

---

(*) Voir *Ann. des mines*, 2e vol. de 1883, p. 249, le Rapport sur cet accident.

à l'exception du train de puddlage n° 2; quatorze chaudières sur dix-sept étaient en feu, fournissant toutes de la vapeur à l'œuvre commune; elles étaient toutes en communication de vapeur; l'alimentation avait été faite récemment. Ainsi, aucune des conditions qui peuvent amener la surchauffe n'était satisfaite; il n'y avait pas eu *bouillautage* à petit feu, l'alimentation avait été régulière, l'usine était en pleine marche. D'ailleurs l'étude des circonstances de l'accident, faite par les ingénieurs des mines, avec une précision et une compétence parfaites, mit au jour d'une manière indubitable les causes de la catastrophe; elle était due à un racommodage mal exécuté, à une pièce posée dans des conditions défectueuses en un point de la chaudière fort exposé aux coups de feu.

Sur l'avis de son rapporteur, la Commission adopta les conclusions ci-après :

« L'explosion d'une chaudière verticale aux forges de « Marnaval a été causée par l'affaiblissement de la tôle « dans la région du coup de feu.... L'accident ne saurait « être attribué à une mise en train intempestive.... Il a « été constaté qu'une pièce, posée à l'extérieur, et exposée « directement à l'arrivée des flammes du four double à « puddler, avait rougi et s'était oxydée. Cette circon- « stance a suffi pour en déterminer la rupture, qui s'est « étendue sur une grande partie de l'appareil. »

Ainsi donc, dans l'accident de Marnaval, il ne saurait être question d'eau surchauffée; voilà un cas au moins dans lequel la surchauffe n'a rien à voir.

Causes générales des explosions. — Il semble qu'il y en ait bien d'autres; il nous paraît que M. le commandant Trève a donné à sa théorie trop d'extension, lorsqu'il a fait appel aux causes inconnues, et qu'il a déclaré établi « que, en dehors de ces grossières fautes d'un

« manque d'eau et d'un encrassement des chaudières, « c'est à la surchauffe qu'il faut attribuer la plupart des « nombreuses explosions de ces dernières années. »

Il y a là tout au moins une exagération manifeste. D'une part, en effet, les explosions qui se produisent de temps à autre sont dues fort souvent à de tout autres causes que le manque d'eau ou l'encrassement des chaudières ; il peut y avoir mille causes matérielles, tangibles, que l'enquête révèle ordinairement d'une matière incontestable, telles que les défauts de construction ou d'entretien, les tôles de mauvaise qualité, mal entretoisées, corrodées, les soupapes calées, les imprudences de toute nature, etc.

D'autre part, dans les cas rares où l'on ne peut découvrir la cause d'un accident de chaudière, il serait téméraire de l'imputer spécialement à la surchauffe; la surchauffe ne peut, dans ces cas-là, que prendre rang parmi toutes les autres hypothèses, plus ou moins probables, qui peuvent être imaginées pour expliquer l'accident.

Enfin, quant aux *causes inconnues*, elles se présentent bien moins souvent que ne semble le supposer M. le commandant Trève. Quand une explosion vient à se produire, il est assez rare qu'on ne puisse pas, par un examen attentif, en découvrir les causes. Il arrive quelquefois, il est vrai, que l'enquête reste en défaut et ces causes inconnues ; mais, même alors, cette incertitude provient presque toujours de ce que l'information n'a pas pu être complète, soit parce que les témoins de l'accident ont disparu, soit parce que les pièces de l'appareil brisé ont été dispersées, avariées ou dérangées, par le fait même de l'explosion ou autrement, en un mot, parce que, pour un motif ou pour un autre, les constatations matérielles n'ont pu être faites complètement et en temps utile.

Voici quelques chiffres qui serviront à préciser les considérations qui précèdent; ils sont tirés des statistiques

les plus récentes publiées par le Ministère des travaux publics.

Pendant les cinq années 1878 à 1882, le nombre total des accidents arrivés dans l'emploi des appareils à vapeur en France a été de 161.

Voici la répartition de ces accidents suivant les causes qui les ont amenés :

Conditions défectueuses d'établissement :		
Construction, disposition, installation ou matières défectueuses		43
Conditions défectueuses d'entretien :		
Usure, fatigue ou amincissement du métal. Corrosions extérieures	36	54
Réparations non faites ou défectueuses. Congélation de l'eau pendant le chômage	18	
Mauvais emploi des appareils :		
Manque d'eau, suivi ou non d'alimentation intempestive	42	88
Excès de pression	20	
Autres imprudences ou négligences	26	
Causes inconnues ou incomplètement déterminées		13

Un même accident est quelquefois dû à plusieurs causes agissant concurremment; c'est pour cela que le total résultant des chiffres de cette répartition est supérieur au nombre d'accidents.

On voit que, sur 161 accidents, il n'y en a que 13 dont les causes soient restées inconnues ou indéterminées ; on comprend, sous cette dernière dénomination, les explosions dues simultanément à plusieurs causes, sans que l'on puisse décider celle qui a déterminé l'accident; elles forment à peu près la moitié du chiffre compris sous la dernière rubrique. Ainsi la proportion des explosions dont on n'a pu définir la cause se réduit à peu près à 3 ou 4 p. 100, chiffre qui n'a rien que de normal dans les

événements de cette espèce, et qui s'explique de lui-même, sans qu'il soit possible d'y voir aucun argument en faveur de l'hypothèse de la surchauffe.

Il y a lieu de reconnaître d'ailleurs que, d'année en année, on sait mieux discerner les causes des accidents de chaudières, et que la classe des causes inconnues ou indéterminées se restreint de plus en plus, au fur et à mesure que les méthodes d'investigation deviennent plus parfaites, et les procédés d'information plus complets : c'est le progrès naturel des connaissances, qui fait chaque jour reculer le domaine de l'inconnu.

Il n'en a pas toujours été ainsi ; à l'époque où l'étude des appareils à vapeur était moins avancée, les accidents de chaudière, avec leur cortège de victimes et de désastres, offraient souvent quelque chose de terrible et de mystérieux, qui frappait vivement les imaginations ; il n'est pas fort étonnant que l'on ait eu souvent recours, pour les expliquer, à des hypothèses bizarres ; on a fait intervenir l'état sphéroïdal, les mélanges détonants, l'électricité, etc., en se fondant sur des analogies plus ou moins lointaines avec des phénomènes constatés dans des expériences de physique ; et, acceptant d'emblée ces hypothèses comme démontrées, on a proposé parfois des remèdes plus extraordinaires encore que ces hypothèses elles-mêmes : pour rendre les explosions impossibles, on a été jusqu'à hérisser les parois des chaudières de pointes de paratonnerre ! !

Hâtons-nous de dire que la Sous-Commission n'a eu garde de ranger dans cette catégorie d'inventions déraisonnables la théorie de l'eau surchauffée et les procédés proposés pour en combattre les effets. On verra, au contraire, par la suite de ce rapport, avec quelle considération ont été examinés les travaux de M. Trève.

Travaux des physiciens. — La Sous-Commission a tenu

d'abord à prendre connaissance des travaux des physiciens qui se sont occupés de la surchauffe des liquides. Les recherches sur cette matière sont déjà anciennes, et d'illustres physiciens s'y sont livrés : de Luc, Gay-Lussac, Magnus et d'autres encore ont exécuté sur ce sujet des expériences fort intéressantes ; plus tard, MM. Donny, Dufour (de Lausanne), Krebs réussirent à maintenir les liquides volatils à l'état de surchauffe, à des températures fort élevées au-dessus de leur point d'ébullition.

Ainsi, dans des vases vides d'air, on put faire chauffer l'eau jusqu'à 150° et même 200°, sans la faire bouillir.

Sous la pression atmosphérique, M. Dufour, en opérant sur des gouttelettes d'eau mises en suspension dans un bain d'huile convenable, a réussi à porter ce bain à la température de 178° sans provoquer l'ébullition.

Le sulfure de carbone, à la pression atmosphérique, bout à 46°,5. M. Gernez le chauffe jusqu'à 150° sans le faire bouillir ; or, à cette température, la tension de la vapeur saturée du sulfure de carbone est de 11,7 atmosphères.

Quand, par une circonstance quelconque, cet état de tension particulier, qui constitue la surchauffe, vient à être rompu, l'ébullition se produit ; si l'excitation est locale, la vaporisation l'est également, et se fait d'une manière régulière ; si, au contraire, l'excitation se fait à la fois en un grand nombre de points de la masse liquide, l'ébullition est brusque, accompagnée de projections, et, en quelques instants, tout le liquide est ramené à la température normale de vaporisation.

De tous les physiciens qui ont étudié la surchauffe, E. Désiré Gernez est peut-être celui qui l'a traitée avec le plus de solidité et de précision.

Avec une obligeance parfaite, dont nous tenons à le remercier, M. Gernez a bien voulu reproduire devant la Sous-Commission quelques-unes de ses intéressantes ex-

périences, lui expliquer les conditions de réussite et les diverses circonstances qui peuvent se présenter.

Conditions nécessaires pour réaliser la surchauffe. — Les expériences sur les liquides surchauffés sont un peu capricieuses ; elles ne réussissent pas toujours également bien ; les conditions à remplir ne sont pas encore bien définies. Cependant les expérimentateurs sont en général d'accord sur certaines circonstances qui favorisent le retard de l'ébullition ; voici les principales :

Il faut des parois bien unies, parfaitement nettoyées, et bien mouillées par le liquide ;

Le liquide doit être absolument purgé d'air ou de gaz en dissolution ;

Jusqu'ici on n'a produit la surchauffe de l'eau que dans des vases en verre, de petite dimension, et ayant subi un nettoyage des plus méticuleux, par la potasse caustique, l'alcool, les acides, le chauffage au rouge, etc. Cependant des parcelles métalliques, jetées dans l'eau, n'empêchent pas la surchauffe de se produire, à la condition expresse que ces parcelles aient été bouillies pendant fort longtemps, et ne retiennent pas la moindre molécule d'air adhérente ;

Enfin il paraît indispensable que le vase renfermant le liquide soit plongé dans un bain à température bien uniforme, de manière à éviter, autant que possible, les courants engendrés par un chauffage inégal.

Dans un liquide surchauffé, on peut déterminer l'ébullition par un grand nombre de moyens ; l'état de surchauffe est extrêmement instable, et les influences les plus légères peuvent le détruire, citons entre autres :

Le contact d'un corps solide quelconque, à moins que celui-ci n'ait été, au préalable et pendant un temps très long, immergé dans le liquide bouillant ;

Des inégalités dans le chauffage des parois du vase ;

Des secousses, des vibrations ;

Le contact d'un gaz, soit à l'état de bulles, soit adhérent à la surface d'un corps solide, soit enfermé sous une cloche, etc.

Quand on se rend compte des précautions minutieuses auxquelles il faut s'astreindre pour obtenir la surchauffe, des préparations longues et laborieuses qu'il faut faire subir, aussi bien au liquide qu'aux récipients, des soins avec lesquels le chauffage doit être conduit, on ne peut s'empêcher d'être frappé du peu d'analogie qui existe entre ces conditions et celles dans lesquelles sont placés les appareils à vapeur de l'industrie.

Des multiples et méticuleuses précautions dont s'entourent les physiciens pour retarder l'ébullition, il n'y en a qu'une seule qui puisse, par hasard et dans des cas exceptionnels, se trouver réalisée dans les générateurs ordinaires de vapeur : c'est l'ébullition prolongée, ayant pour effet de chasser du liquide tout l'air qu'il peut contenir en dissolution. Tout le reste est absolument et radicalement différent. Dans les générateurs de l'industrie, au *lieu* de très petits vases en verre, on rencontre de grands récipients en métal ; au lieu de ces parois unies, si soigneusement nettoyées par les agents les plus propres à obtenir un décapage parfait, nous voyons des tôles rugueuses, inégales, avec des coutures, des joints, hérissées de têtes de rivets, de boulons, et toujours tapissées de dépôts pierreux ou pulvérulents ; enfin, au lieu d'être plongées dans un bain à température fixe et uniforme, les tôles des chaudières sont léchées par des gaz à des températures extrêmement et nécessairement inégales, depuis les radiations intenses du foyer jusqu'aux fumées presque froides de la cheminée ; de là des courants rapides parcourant incessamment la chaudière dans tous les sens.

L'assimilation entre les expériences de laboratoire et

les phénomènes industriels semble, en résumé, fort difficile à admettre. Néanmoins la Sous-Commission n'a pas cru devoir s'en tenir à ces considérations théoriques. Elle a tenu à interroger la pratique et l'expérience.

Faits industriels de surchauffe. — Dans les diverses publications relatives à l'art de l'ingénieur, on rencontre un certain nombre de faits, que l'on a attribués à la surchauffe de l'eau des chaudières.

M. Obé, ingénieur des mines du Montet-aux-Moines, a fait sur ce sujet une communication à l'un des districts de la Société de l'Industrie minérale, dans une séance tenue à Montluçon, le 6 mars 1881.

M. Obé admet la théorie de la surchauffe, et, à l'appui de son opinion, il cite les faits ci-après :

A deux reprises différentes, une fois aux mines de Hardinghen, une autre fois à celle de Saint-Laurent, il a vu, dans des générateurs dont la marche avait été arrêtée pendant quelques heures, la pression ne pas s'élever malgré l'activité du feu; puis, à un moment donné, le manomètre montait rapidement, en même temps qu'il se produisait des bruits sourds et des trépidations.

Ces observations sont intéressantes, mais malheureusement incomplètes ; en l'absence de détails circonstanciés, on ne peut guère y voir qu'une indication, et non pas une démonstration.

M. Obé cite encore deux explosions, l'une à Roanne, l'autre à Cusset; il les attribue l'une et l'autre à la surchauffe de l'eau.

Nous avons pu retrouver des renseignements sur l'explosion de Roanne ; elle a eu lieu le 10 juin 1880 dans une fabrique de cotonnades ; contrairement aux assertions de M. Obé, la Commission centrale a constaté que cette explosion était due à un manque d'eau.

Nous avons été moins heureux pour l'explosion de Cus-

set (Allier); nous n'en avons pas retrouvé le compte rendu; à moins qu'il ne s'agisse de l'explosion d'une locomobile, qui a eu lieu à Saint-Gérand-de-Vaux (Allier), le 28 août 1880, et qui a été également causée par un manque d'eau.

Dans le journal *les Mondes* du 4 août 1881, nous trouvons le récit d'expériences faites par M. Lawson, de Wellsville (Ohio); M. Lawson aurait fait éclater une chaudière, en ouvrant brusquement la prise de vapeur. Mais nous avons pu retrouver, dans le journal américain *the Scientific American*, la description complète et pour ainsi dire officielle des expériences de M. Lawson ; elle est insérée dans les numéros du journal du 3 juillet 1880, du 24 décembre 1881 et du 15 avril 1882; une première expérience a eu lieu le 16 juin 1881 ; d'autres ont été exécutées en mars 1882. Il est facile de se convaincre, en lisant le récit de ces expériences, que les explosions ont été provoquées, non pas par la surchauffe de l'eau, mais par un excès de pression accompagné de brusques secousses. D'ailleurs la théorie de M. Lawson est toute différente de celle de M. Trève, et, disons-le, pour le moins tout aussi plausible ; il attribue certaines explosions aux commotions qui résultent des mouvements de l'eau, soulevée par une ébullition violente, alors que la chaudière est tout près de sa limite de résistance (*).

Tel est le maigre contingent d'indications pratiques que nous avons pu récolter dans les publications industrielles.

MM. les ingénieurs en chef des Associations des pro-

(*) Voici le texte du passage dans lequel cette théorie est exposée (numéro du 3 juillet 1880):

« When the engineer opens the throttle valve, the cylinder is instantly filled with steam, creating a vacuum to that extent in the boiler. The superheated water then immediately rises to fill the vacuum, and is met by the valve, instantly cutting off the escape into the cylinder; this causes a concussion on every square inch in the boiler, much greater than the regular pressure of the steam. »

priétaires d'appareils à vapeur, réunis à Paris, en septembre 1881, ont porté leurs délibérations sur le sujet de la surchauffe; la communication de M. Obé et l'article *des Mondes* ont servi de point de départ à leur discussion; celle-ci a été fort approfondie, et les conclusions ci-après ont été adoptées :

« Il ne semble pas démontré jusqu'à présent qu'il « puisse se trouver, dans les chaudières en fonctionnement industriel, de l'eau à une température supérieure à celle qui correspond à la pression. »

Enfin la Sous-Commission s'est adressée à M. le commandant Trève, et l'a prié de lui communiquer les observations à sa connaissance qui pouvaient donner quelques preuves un peu précises relativement à des faits de surchauffe dans des générateurs; elle a également interrogé, par l'intermédiaire de notre obligeant collègue M. Forquenot, le personnel de la Compagnie du chemin de fer d'Orléans; cette enquête n'a donné jusqu'ici que des résultats négatifs; nous ne pouvons, de ce côté, apporter aucun fait de surchauffe bien constaté.

Certaines personnes affirment qu'au moment de l'ouverture de la prise de vapeur d'une chaudière, l'aiguille du manomètre éprouve quelquefois un rapide mouvement de hausse; nous n'avons recueilli aucune observation de cette nature.

Il est cependant vrai qu'un certain nombre d'explosions se sont produites à la reprise du travail, soit pendant la mise en marche, soit un peu avant, soit un peu après. Il n'y a là qu'un résultat très simple de ce fait, qu'au moment de la mise en train, les mécaniciens ont besoin de toute leur pression pour surmonter les résistances dues à l'inertie et aux frottements au départ; qu'en conséquence ils sont obligés de monter en pression et de pousser leurs feux; si donc une chaudière est usée ou en mauvais état, de manière à devenir dangereuse, l'explosion se produira

de préférence à ce moment là, alors que le générateur est exposé à une plus grande fatigue et à des efforts discontinus.

A propos de cette prétendue fréquence des explosions au moment de l'ouverture de la prise de vapeur, notre collègue de la Commission centrale, M. Cornut, nous a communiqué un travail intéressant :

Sur les 161 accidents qui ont eu lieu dans les cinq dernières années (1878-1882), il a pu, dans 79 cas, retrouver les circonstances de marche de l'appareil au moment de l'explosion :

L'explosion a eu lieu pendant l'arrêt dans.	23 cas,
Elle a eu lieu pendant la marche dans.	54 cas,
sur lesquels elle s'est produite quatre fois dans le quart d'heure qui a suivi la mise en train;	
Enfin, l'explosion a eu lieu au moment même de la mise en train dans.	2 cas;

une de ces deux explosions avait pour cause un amincissement de la tôle, et peut-être la surcharge des soupapes; l'autre était due au calage des soupapes et à un manomètre ne fonctionnant pas.

Ces résultats confirment pleinement les observations précédentes. Il n'y a rien, dans tout cela, qui puisse venir à l'appui de l'hypothèse de la surchauffe.

Expériences faites par la Sous-Commission. — Ne trouvant, dans les faits industriels observés jusqu'à ce jour, aucune preuve décisive en faveur de la théorie de M. Trève, la Sous-Commission a cherché à s'éclairer par la voie de l'expérience.

Quatre séries d'expériences ont été instituées :

Première série. — On a chauffé de l'eau dans des vases en verre.

Deuxième série. — On a mis une chaudière en observation, en recherchant si le manomètre n'éprouverait pas quelque mouvement anormal.

Troisième série. — On a mis en expérience une autre chaudière, et l'on a cherché à saisir les différences de température qui pourraient se produire entre la vapeur et l'eau.

Quatrième série. — On a disposé une petite chaudière spéciale, munie d'appareils de mesure, et l'on s'est efforcé d'accumuler, dans cette chaudière, les conditions considérées comme les plus favorables à la production de la surchauffe.

Première série d'expériences. — Les expériences de la première série ont eu pour objet l'étude de l'ébullition dans les vases ordinaires en verre; on voulait se rendre compte de l'importance que peut avoir, au point de vue de la surchauffe, la longue préparation que les physiciens font subir à leurs récipients.

On a choisi des ballons de petite dimension, en bon verre bien net, et on y a fait bouillir de l'eau pure ou contenant diverses matières en dissolution étendue. Le chauffage était obtenu au moyen de la flamme d'un bec Bunsen, étalée par son passage à travers une toile métallique fine. La température était donnée par un thermomètre plongeant dans le liquide.

L'ébullition de l'eau pure et des solutions salines ou alcalines n'a donné lieu qu'à quelques soubresauts insignifiants, même lorsqu'elle a été longtemps prolongée.

L'eau légèrement acidulée a donné lieu à une surchauffe très nette, mais qui ne s'est pas élevée à plus de deux ou trois degrés; l'ébullition se produisait par forts soubresauts. Quand on excitait la vaporisation par l'un des moyens indiqués pour l'eau surchauffée, il y avait parfois ébullition violente, accompagnée de projections.

Deuxième série d'expériences. — Les expériences de la deuxième série ont été faites aux ateliers du chemin de fer d'Orléans, sur la chaudière de la scierie.

Voici quel était l'objet de ces expériences :

Il résulte, comme on l'a vu, des expériences des physiciens, que la surchauffe est, dans tous les cas,

favorisée par la stagnation de l'eau pendant une période d'arrêt plus ou moins prolongée, ayant pour effet de chasser l'air emprisonné. Qu'une action un peu énergique se produise sur le liquide surchauffé, la vaporisation aura lieu, et une grande quantité de vapeur sera rapidement émise.

Ces circonstances sont réalisées au moment de la mise en train d'un générateur, lentement refroidi pendant une nuit tout entière, avec registre et cendrier fermés, et avec un feu recouvert uniformément de cendres. Il était intéressant de voir si, dans ces conditions, l'ouverture de la prise de vapeur, en produisant un commencement d'ébullition, ne déterminerait pas un brusque mouvement en avant du manomètre.

La chaudière mise en observation est un générateur tubulaire, en forme de chaudière de locomotive.

Les dimensions principales sont les suivantes :

Surface de chauffe.	65^{mq},40
Volume du réservoir d'eau.	3.130 litres.
Volume du réservoir de vapeur.	1.089 litres.
Timbre.	6 k.

En marche normale, cette chaudière vaporise environ 425 litres d'eau à l'heure ; elle est chauffée au moyen de sciures et chutes de bois.

Des observations ont été faites les 22 et 23 juin 1883 ; elles ont été reprises le 11 juillet et continuées presque chaque jour jusqu'au 1er août. Le matin, au moment de la mise en train, pendant que l'on ouvrait la prise de vapeur, un observateur avait les yeux fixés sur le manomètre.

Ces observations n'ont absolument rien montré d'anormal dans la marche du manomètre. Si le feu était vif au moment de la mise en route, la pression continuait à s'élever jusqu'à ce que la machine eût pris sa vitesse de

régime. Quand le feu était couvert, la pression baissait lentement (*).

Troisième série d'expériences. — Dans une chaudière en marche normale, la température de la vapeur est la même que celle de l'eau. Si, à un moment donné, l'eau vient à se surchauffer, à prendre cet état particulier, dans lequel elle cesse de se vaporiser, la tension de la vapeur devient indépendante de la température de l'eau ; il devrait donc se produire un écart entre les températures de l'eau et de la vapeur.

On s'est efforcé de saisir les écarts de cette nature ; à cet effet, on a organisé une série d'expériences, dans lesquelles les différences entre la température de la vapeur et celle de l'eau d'une chaudière s'enregistraient pendant une longue durée.

D'habitude, pour prendre la température d'un générateur de vapeur, on dispose dans la chaudière des bouts de tube, fermés du côté de la pression, ouverts au dehors, et pleins d'un liquide non volatil, dans lequel on plonge des thermomètres ; ceux-ci se trouvent ainsi soustraits à la pression, et chauffés par l'intermédiaire du liquide qui remplit les tubes.

Mais ce dispositif ne permet pas l'enregistrement des résultats thermométriques ; de plus, la transmission de la chaleur se fait lentement, et les variations un peu brusques de température ne se font pas sentir aux thermomètres. Or, en cas de surchauffe, on pouvait se trouver en présence de ces sautes de température.

Voici le dispositif qui a été adopté (Pl. IV, *fig.* 1 à 4).

La chaudière mise en expérience est celle du Conservatoire des Arts et Métiers.

(*) Les rapports, tableaux numériques et tracés graphiques relatifs à ces expériences et aux suivantes sont déposés dans les archives de la Commission centrale des machines à vapeur.

Cette chaudière est cylindrique, avec quatre réchauffeurs latéraux d'eau d'alimentation.

Sa surface de chauffe est de......	13 m. carrés.
Sa surface de grille, de.........	27 1/2 décim. car.

On a fait construire une pile thermo-électrique, que l'on se proposait de suspendre dans la chaudière elle-même, dans de telles conditions, qu'une série de soudures fût plongée dans l'eau, alors que les autres, en égal nombre, resteraient émergées dans la vapeur.

On a donné à cette pile une longueur de 45 centimètres, et on l'a formée de 15 fils de fer et de 15 fils de maillechort de 1,5 millimètre de diamètre, soudés successivement par leurs extrémités. Ces fils ont été disposés suivant les génératrices d'un cylindre en bois de buis de 40 millimètres de diamètre, percé de part en part, pour le passage de la tige de cuivre, par laquelle on suspendait verticalement la pile au couvercle autoclave du trou d'homme de la chaudière sur laquelle on voulait opérer.

Les deux bouts de noms contraires, restés libres, étaient mis d'ailleurs en communication avec une aiguille de galvanomètre, dont les déviations étaient enregistrées, tout les quarts d'heure, sur une feuille de papier, au moyen de la piqûre faite par une pointe verticale, enchâssée à l'extrémité de cette aiguille. Cet appareil enregistreur à mouvement d'horlogerie était celui-là même qui avait été employé, avec un succès complet, par M. le général Morin, pour mesurer, en divers points d'une cheminée de ventilation, l'excès de la température intérieure sur celle de l'air ambiant.

Cet appareil a été essayé, avec son enregistreur, d'abord dans l'air, en chauffant une des extrémités de la pile dans un manchon rempli d'eau chaude, puis en plongeant cette extrémité dans l'eau elle-même, afin de s'assurer que les actions hydro-électriques n'étaient pas

assez grandes pour oblitérer les indications données par le courant produit par l'inégalité de température des soudures.

Pendant la durée du fonctionnement, on s'est d'ailleurs assuré de la conservation du bon état de la pile et de l'enregistreur, en lançant dans tout le circuit, ou dans ses diverses parties, un courant électrique très faible, produit par un petit élément de pile. Cette précaution a été d'autant plus utile, qu'à plusieurs reprises, certaines soudures se sont ouvertes, sous l'influence des dilatations produites par les températures relativement élevées de la vapeur de la chaudière.

Le cylindre de buis, au bout de quelques jours seulement d'expérience, avait été complètement désorganisé par la vapeur, et réduit presque à l'état spongieux.

Dans les déterminations destinées à donner la mesure des déviations produites par la pile, on avait tout d'abord reconnu que la déviation, correspondant à 40 degrés entre ses deux extrémités, se mesurait par 60 millimètres, soit par $1^{mm},50$ pour un degré. Plusieurs vérifications de cette tare ont été faites successivement, et ont donné à fort peu près le même résultat.

On ne saurait assigner aucune limite à la sensibilité de ce mode d'expérimentation, surtout si l'on s'assujettissait à observer les déviations de l'aiguille du galvanomètre par les moyens optiques les plus précis. En ce qui concerne la question à résoudre ici, la sensibilité de l'appareil décrit était plus que suffisante.

Chaque expérience définitive devait comprendre, pendant vingt-quatre heures et plus, l'enregistrement de la position de l'aiguille du galvanomètre, avant l'allumage et jusqu'à la mise en pression de la chaudière, à la mise en marche de la machine, puis pendant le fonctionnement de la machine sous pression à peu près constante, puis enfin pendant la période de refroidissement, jusqu'au len-

demain ou au surlendemain; on changeait alors le papier, pour obtenir un nouveau diagramme correspondant au réallumage, avant ou après une nouvelle alimentation, jusqu'à ce que la pression se fût élevée à la pression de régime de 5 atmosphères, et eût permis de remettre la machine en marche régulière.

Il ne s'est présenté aucun écart notable dans la position de l'aiguille du galvanomètre pendant toutes ces alternances, ni pendant toute la durée de ces observations, qui ont été très prolongées.

Il est résulté, de l'examen des diagrammes, que la température du pôle vapeur était en général un peu moins élevée; mais cet écart s'est toujours tenu au-dessous de 2°; et il s'explique tout simplement par le voisinage des parois de la chaudière, dont la température était naturellement moins élevée que celle de la vapeur, et qui rayonnaient sur le pôle vapeur.

Dans la nuit du 26 au 27 août, l'aiguille du galvanomètre s'est fortement agitée, comme on peut le voir sur les tracés; quelle a été la cause de cette agitation? Nous l'ignorons; dans tous les cas, la forme du tracé ne permet pas de l'attribuer à la surchauffe, attendu que ces mouvements ont eu lieu depuis une heure et demie jusqu'à six heures du matin, c'est-à-dire pendant la période de refroidissement; or le tracé montre que les déviations de l'aiguille se sont produites brusquement et ont disparu lentement, c'est le contraire qui aurait eu lieu, si la surchauffe était la cause de ces mouvements (*).

Il est ainsi établi, par une expérience directe, qu'il ne

(*) On ne peut s'empêcher de remarquer la coïncidence curieuse qui existe entre ces mouvements anormaux de l'aiguille du galvanomètre et les perturbations atmosphériques constatées par MM. Wolff et Marié-Davy dans les journées du 26 et du 27 août (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 28 janvier 1884.)

s'est manifesté aucune différence appréciable entre la température de l'eau et celle de la vapeur, pendant aucune des périodes comprises dans la suite des observations, soit en marche courante, soit pendant l'allumage ou pendant le refroidissement.

Une différence de température de 2° seulement n'aurait pu échapper à ce mode de contrôle, dont les résultats négatifs sont absolument décisifs, pour la chaudière du Conservatoire, dans les conditions où elle a été employée.

Quatrième série d'expériences. — Enfin, on a voulu s'assurer si, en privant complètement l'eau d'air en dissolution au moyen d'une ébullition extrêmement prolongée, on ne pourrait pas arriver à réaliser ce phénomène de la surchauffe dans une chaudière métallique, phénomène qui, jusqu'alors, s'était montré rebelle à toutes les tentatives.

Les expériences ont été faites au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, au Trocadéro.

On s'est servi d'une petite chaudière A (Pl. V, *fig.* 1 à 3), constituée par un tronçon de tube en fer étiré, fermé par de solides fonds en fonte. Cette chaudière avait été, au préalable, essayée à une pression de 15 kilogrammes par centimètre carré. Son volume est d'environ 21 litres. Elle était chauffée par un gros brûleur Bunsen B, à deux couronnes, l'une portant 6 becs, l'autre 12. La conduite d'amenée du gaz est munie d'un régulateur de pression C. En faisant varier, soit le nombre des becs allumés, soit la pression du gaz, on pouvait modifier dans de larges limites les conditions du chauffage.

La chaudière est munie des accessoires ci-après :

Un bon manomètre Bourdon, divisé en quarts de kilogramme, D;

Un tube de niveau E;

Une soupape de sûreté F;

Divers robinets et bouchons filetés.

On l'a munie de deux thermomètres à mercure horizontaux, passant à travers des presse-étoupe G et H; les réservoirs de ces deux thermomètres plongent, l'un dans l'eau, l'autre dans la vapeur; les tiges sortent de la chaudière.

Voici les dispositions prises pour obtenir une ébullition prolongée, afin de chasser l'air en dissolution.

Sur l'un des robinets I, débouchant un peu au-dessus du centre de la chaudière, est branché un tube, qui se recourbe pour venir plonger, jusque vers le fond, dans l'eau contenue dans un récipient cylindrique vertical K, en tôle galvanisée (barillet pour pétrole).

L'eau mise dans ce réservoir a été préalablement bouillie; il en était de même de celle qu'on dut ajouter de temps à autre pour remplacer celle qui s'évaporait. Le volume de ce récipient est de 50 litres.

La chaudière étant chauffée, la vapeur produite barbotte dans l'eau du barillet, et la maintient à la température de l'ébullition; le couvercle du barillet ne portant que deux ouvertures étroites, l'une pour le passage du tube de vapeur, l'autre pour le dégagement de la vapeur en excès, on voit qu'à la surface de l'eau toujours chaude contenue dans ce réservoir, il règne une atmosphère de vapeur, et que cette eau ne saurait dissoudre de l'air.

Voici comment on opère:

On chauffe la chaudière pendant environ une heure et et demie, puis on ferme le gaz; par le refroidissement, la vapeur se condensant, la chaudière se remplit complètement d'eau puisée dans le barillet. Au bout d'une demi-heure, on reprend le chauffage, il s'écoule d'abord, par le tube d'alimentation, de l'eau, puis de la vapeur.

Pour admettre et couper alternativement le gaz, on s'est servi d'un petit appareil automatique, consistant en

un balancier hydraulique L, manœuvrant le robinet de gaz M.

La chaudière a été bien nettoyée à la potasse caustique, puis lavée à grande eau; et enfin l'appareil a été mis en marche le 4 janvier 1884, à trois heures de l'après-midi. Les expériences proprement dites ont commencé le 15 janvier; l'eau avait donc bouilli, avant le premier essai, pendant onze jours, nuit et jour, avec interruption d'une demi-heure toutes les deux heures, ce qui correspond à environ 200 heures d'ébullition continue. On peut admettre qu'au 15 janvier la chaudière et l'eau étaient absolument purgées d'air. Il fallait chaque jour, pour remplacer l'eau évaporée, verser, dans le barillet, environ 15 litres d'eau, que l'on avait soin, au préalable, de faire bouillir au moins une demi-heure.

Pendant toute cette durée, on observait de temps à autre les deux thermomètres; on les a toujours trouvés d'accord, à 1 ou 2 degrés près; cette différence a été ex-expliquée précédemment à propos des expériences du Conservatoire.

On a procédé ensuite aux expériences proprement dites; elles ont eu lieu le 15 janvier et les jours suivants. Dans l'intervalle de deux expériences, l'alimentation en eau bouillie était reprise comme avant le 15 janvier.

Chaque expérience était conduite comme il suit :

On fermait tous les robinets; la chaudière était soumise à l'action de la chaleur, et par conséquent la température et la pression s'élevaient. A des intervalles plus ou moins espacés, on observait simultanément : le thermomètre plongé dans l'eau, le thermomètre plongé dans la vapeur, le manomètre.

De temps à autre, on ouvrait brusquement le robinet d'échappement, de manière à imiter une prise rapide de vapeur.

Enfin on a fait varier les conditions du chauffage; tan-

tôt il était assez actif pour que la température s'élevât de 50° en une demi-heure, tantôt assez lent pour que la température ne montât que de 28° en six heures et demie.

Les dernières expériences ont été faites après que la chaudière eut été maintenue close et doucement chauffée pendant près de quinze heures.

Les résultats de ces expériences peuvent se résumer comme il suit :

Les deux thermomètres ont constamment marché d'accord ; l'écart, toujours inférieur à 2°, comme dans les expériences du Conservatoire, s'explique tout naturellement par quelques petites différences dans la construction des thermomètres et l'action des pressions sur leurs réservoirs, et surtout par l'effet inégal du rayonnement des parois ; on remarque en effet que le thermomètre dans la vapeur donne des indications plus basses que l'autre quand la pression s'élève, et au contraire des indications plus élevées quand la pression s'abaisse.

Au moment de l'ouverture de l'échappement, on n'a jamais pu apercevoir aucun mouvement anormal dans l'aiguille du manomètre.

Dernières communications de M. le commandant Trève. — Avant de clore son rapport, la Sous-Commission a désiré entendre une dernière fois M. Trève, lequel a bien voulu se rendre à son appel, et lui fournir ses explications. L'entrevue a eu lieu le 2 février. Voici le résumé de cet entretien.

M. Trève donne la description de l'installation qu'il a faite, installation qui n'était pas encore complète, lors d'une précédente visite aux ateliers de M. Dumoulin-Froment.

C'est un grand thermomètre, logé dans un tube en cuivre, lequel est fermé par le bas, et plonge dans l'eau d'une chaudière ; ce tube est plein de paraffine.

La graduation du thermomètre est faite, d'un côté en degrés, de l'autre en pressions de vapeur d'eau saturée; c'est un *thermo-manomètre;* à côté de l'échelle des pressions, se trouve un manomètre.

Le thermomètre indiquant la température de l'eau de la chaudière, on voit que, s'il y a surchauffe, il y aura désaccord entre les indications du thermo-manomètre et celles du manomètre.

Voici maintenant les faits observés par M. Trève, depuis un mois environ que l'appareil est en expérience.

A l'état normal, le manomètre et le thermo-manomètre marchent parfaitement d'accord.

Si l'on vient à ouvrir un robinet, monté à cet effet sur la chaudière, la vapeur s'échappe et la pression baisse rapidement; en cinq minutes environ, le manomètre passe de 4 à 3 kilogrammes; le thermomètre baisse moins rapidement et indique une température supérieure de quelques degrés (3 à 4° 1/2) à celle correspondant à la pression de la vapeur; en même temps l'indicateur magnétique du niveau de l'eau est violemment agité.

M. le commandant Trève en conclut que, en ce moment-là, il y a surchauffe de l'eau.

Nous ne saurions en aucune façon partager cette manière de voir. Nous ne voyons, dans cette expérience, que des faits absolument réguliers et normaux. Si la surchauffe devait se produire, ce serait avant l'ouverture du robinet, alors que l'eau de la chaudière est à peu près calme. L'émission de vapeur en rompant l'équilibre, devrait alors déterminer une vaporisation brusque, c'est-à-dire une hausse et non pas une baisse du manomètre. Quant au retard dans les indications du thermomètre, il n'y a rien là que de naturel et de nécessaire, attendu qu'un thermomètre, qui ne reçoit la chaleur de l'eau que par l'intermédiaire d'un bain de paraffine, est un instrument fort paresseux, comme le savent tous ceux qui s'en

sont servi, et qu'il faut très longtemps pour qu'il se mette en équilibre avec le milieu dans lequel il est plongé. Enfin les mouvements de l'indicateur magnétique, qui semblent avoir fait quelque impression sur l'esprit de M. Trève, prouvent tout simplement que l'eau est en violente ébullition, résultat inévitable de l'ouverture du robinet.

M. Trève pense en outre qu'au moment où l'eau en ébullition est projetée sur les parois chaudes de la chaudière, elle se *dissocie* en ses éléments, oxygène et hydrogène, et donne lieu à un mélange détonant, pouvant amener une explosion fulminante. C'est là une théorie toute différente de celle que la Sous-Commission avait à examiner, et ce serait sortir des limites de notre mandat que d'essayer de la discuter.

M. Trève nous a enfin cité l'explosion récente des chaudières du « Coligny, » à la Rochelle, et l'avis de la Commission de surveillance, qui attribue cette explosion au phénomène de l'eau surchauffée.

L'accident du « Coligny » étant actuellement en instruction, et devant être prochainement soumis aux délibérations de la Commission centrale, il est de notre devoir de réserver notre opinion sur cette affaire (*). D'ailleurs l'explication tout à fait erronée, en fait aussi bien qu'en théorie, qui a été attribuée à l'explosion de Marnaval, suffirait seule pour nous imposer une grande prudence dans l'appréciation des causes de cet accident.

En terminant, M. Trève nous a déclaré que ses études sont loin d'être complètes ; qu'il les poursuit avec persévérance ; qu'il pense être sur la voie de résultats intéressants ; mais qu'en attendant ces résultats, il ne saurait

(*) La Commission centrale a été appelée à se prononcer, dans sa séance du 26 avril 1884, sur l'accident du « Coligny », et a émis l'avis que cette explosion est due uniquement à l'état déplorable des chaudières qui ont éclaté.

rien affirmer et se croit tenu de rester sur la plus grande réserve; que la surchauffe est un phénomène imparfaitement étudié jusqu'à présent; que, dans tous les cas, il est certain que ce phénomène est d'une extrême rareté dans le fonctionnement des chaudières à vapeur; s'il en était autrement, a-t-il ajouté, *on sauterait tous les jours!*

Sur ce dernier point, la Sous-Commission partage entièrement les vues de M. Trève. Elle ne peut que lui témoigner toute sa sympathie pour le désintéressement qu'il apporte à la poursuite de données certaines sur les phénomènes obscurs qu'il s'est donné la tâche d'élucider.

Résumé. — En résumé, la Sous-Commission s'est efforcée de réunir tous les éléments d'information qui étaient à sa portée, dans le but de se procurer des lumières sur la question qui lui était proposée; elle a consulté les publications des physiciens, celles des praticiens; elle a interrogé des hommes du métier; elle a assisté à des expériences et en a institué elle-même, qu'elle s'est ingéniée à varier de toutes les manières, espérant saisir ce phénomène de la surchauffe qui lui échappait toujours.

Nulle part elle ne l'a rencontré d'une manière précise, dans la marche des appareils à vapeur industriels. Même, dans les quelques cas douteux qui se sont présentés, les faits peuvent s'expliquer tout autrement que par un retard dans l'ébullition.

La théorie des explosions que la Sous-Commission a eu à examiner semble donc, pour le moment du moins, ne s'appuyer sur aucun fait matériel; elle a pour point de départ une assimilation fort discutable des chaudières à vapeur avec certains appareils délicats des laboratoires de physique; elle ne paraît pouvoir être considérée jusqu'ici que comme une hypothèse non appuyée de preuves suffisantes.

En présence de ces conclusions négatives, il devenait superflu d'examiner la valeur des remèdes proposés par M. Trève, contre un mal qui, en tout état de cause, n'est pas défini, et qui pourrait bien n'être qu'imaginaire.

Est-ce à dire pour cela que tout soit faux dans cette hypothèse de la surchauffe appliquée aux générateurs à vapeur ? Il serait téméraire de l'affirmer. Mais, de l'aveu unanime, on se trouve en présence d'un phénomène extrêmement rare ; on ne connaît pas les conditions dans lesquelles il peut se produire, ni les circonstances qui peuvent en favoriser la production ; ce n'est donc pas, quant à présent du moins, par des expériences, qu'on peut espérer le réaliser. Il ne reste plus, pour pousser plus loin cette étude, qu'une seule méthode : c'est l'observation soutenue, attentive et persévérante, qui peut-être mettra à la longue sur la voie de nouvelles découvertes.

M. le commandant Trève, en instituant des observations de longue haleine, peut donc rendre de sérieux services à la science. Il est certain que l'usage du thermo-manomètre, s'il venait à se vulgariser, pourrait jeter quelques lumières sur ces questions obscures. Malheureusement, le thermo-manomètre décrit par M. Trève ne nous semble pas présenter toutes les garanties voulues ; ses indications seraient paresseuses, défaut grave dans l'espèce ; de plus, le tuyau plein de paraffine traversant le réservoir de vapeur, la température qu'il prend est intermédiaire entre celles de la vapeur et de l'eau.

Même avec un bon instrument, bien établi, les observations, pour avoir quelque valeur, devraient toujours être relevées comparativement aux indications d'un manomètre très exact ; il faudrait en outre qu'elles fussent faites avec beaucoup de régularité, par des personnes sûres et bien au courant de ces sortes d'expériences ; sinon, elles pourraient jeter plus d'obscurité que de

lumière sur les questions à étudier. Ce sont là des conditions assez difficiles à réaliser.

D'un autre côté, il serait désirable que l'attention des ingénieurs de l'État fût attirée sur ces questions intéressantes, afin qu'ils renseignent l'Administration sur tous les faits relatifs à la surchauffe qui pourront venir à leur connaissance. Ce dernier but serait atteint par l'insertion du présent rapport dans les publications du Ministère.

Conclusions. — Nous avons l'honneur de proposer à la Commission centrale les conclusions ci-après :

Il n'est nullement démontré, quant à présent, que la surchauffe de l'eau ait causé aucune explosion de chaudière, ni qu'elle se soit jamais produite dans les générateurs de l'industrie.

Si elle se produit, ce n'est que dans des cas extrêmement rares, et par un concours de circonstances exceptionnelles, qui ne sont jusqu'ici ni définies ni connues.

Il n'y a donc pas lieu, pour le moment, d'examiner les remèdes qui ont été proposés pour combattre la surchauffe de l'eau dans les chaudières.

L'usage d'un instrument faisant connaître exactement la température de l'eau et la pression de saturation correspondante pourrait procurer quelques indications utiles à nos connaissances, à la condition que cet instrument ne fût employé qu'avec les précautions convenables.

Enfin, nous proposons que le présent rapport soit inséré dans les *Annales des Mines* et dans les *Annales des Ponts et Chaussées*.

Paris, le 5 février 1884.

L'Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées,
Rapporteur de la Sous-Commission,
J. Hirsch.

Avis de la Commission centrale.

La Commission, après avoir entendu la lecture du rapport qui précède et en avoir délibéré, adopte les conclusions de la Sous-Commission.

L'Inspecteur général des Mines,
Président,
Signé : JACQUOT.

L'Ingénieur des Mines,
Secrétaire,
Signé : CLÉRAULT.

LÉGENDE EXPLICATIVE DES FIGURES.

Pl. IV. — Expériences du Conservatoire.

P Pile thermoélectrique, plongée jusqu'au milieu de sa hauteur dans l'eau de la chaudière.

p, p' Fils de communication entre les pôles de la pile et le galvanomètre G.

q Aiguille du galvanomètre G, se déplaçant, suivant l'intensité du courant, autour de l'axe du fil de suspension g.

c Came de l'enregistreur, mue par mouvement d'horlogerie, et permettant au plateau D de remonter, toutes les quinze minutes, sous l'action du poids F, que la came remonte aussitôt. Le papier d fixé sur le plateau est piqué chaque fois par la pointe q' de l'aiguille q, dont les pointés successifs forment l'ensemble du diagramme.

T Tubulure de la chaudière, fermée par le couvercle H du trou d'homme; ce couvercle est muni de deux presse-étoupe r, r', garnis d'amiante, pour maintenir respectivement l'étanchéité au passage des fils p, p'.

Pl. V. — Expériences du Trocadéro.

A Chaudière en fer avec fonds en fonte.

B Brûleur Bunsen à deux couronnes, l'une de douze, l'autre de six becs.

C Régulateur de la pression du gaz alimentant le brûleur B.

D Manomètre Bourdon.

E Tube de niveau d'eau de la chaudière.

F Soupape de sûreté.

G Thermomètre dans la vapeur.

H Thermomètre dans l'eau.

I Robinet d'alimentation.

K Barillet d'alimentation; on peut placer, par dessous, un brûleur à gaz; il communique avec le robinet d'alimentation I par un tube a, qui plonge jusque vers le fond du barillet.

b Orifice d'évacuation de vapeur.

c Tube de niveau d'eau du barillet.

d Robinet de vidange.

L Basculeur, alimenté par le flacon e, à niveau constant; le débit est réglé de telle sorte, que le basculement se produise au bout d'une demi-heure dans un sens et d'une heure et demie dans l'autre.

M Robinet fournissant le gaz au brûleur B, et commandé par le basculeur L.

N Allumeur, brûlant constamment et alimenté par une prise spéciale de gaz.

f Robinet de vidange de la chaudière.

g Décharge de vapeur.

MÉMOIRE

SUR

DIVERS SYSTÈMES DE VOITURES A VAPEUR

EMPLOYÉES

EN BELGIQUE ET DANS LES PROVINCES RHÉNANES.

Par M. WORMS DE ROMILLY, Ingénieur en chef des mines.

Ayant été chargé d'aller étudier en Belgique et dans les provinces Rhénanes, les divers systèmes de voitures à vapeur employées sur les chemins de fer, nous avons présenté à l'Administration les renseignements recueillis dans notre voyage, sur les voitures de MM. Belpaire et Thomas, dans un rapport dont ce mémoire est en partie la reproduction.

VOITURES BELPAIRE.

Premier Type.

Nous avons décrit en détail dans les *Annales des mines* (*) le premier type de la voiture Belpaire, nous renvoyons donc à cette note pour tous les détails de construction de cette voiture.

Une explosion a fait renoncer au type primitif de géné-

(*) 2e volume de 1879, p. 403.

rateur et a fait adopter le suivant représenté par les *fig.* 2, 2 *bis* (Pl. VI). La chaudière, forme locomobile, a un foyer et une enveloppe de foyer de forme parallélipipédique à sections rectangulaires. Il nous suffira d'en donner les principales dimensions.

	Foyer.	Enveloppe du foyer.
Longueur	0m,583	0m,760
Largeur	0 ,974	1 ,166
Hauteur	1 ,000	1 ,40
Épaisseur	0 ,012	0 ,012
Diamètre du corps cylindrique		0 ,950
Épaisseur		0 ,011
Longueur des tubes en laiton		1m,250
Diamètre intérieur des tubes		0 ,028
Épaisseur des tubes		0 ,002
Nombre des tubes		209
Surface de chauffe directe		2mq,906
Surface de chauffe tubulaire		22 ,976
Surface de la grille		0 ,515
Volume d'eau de la chaudière		0mc,700
Volume de vapeur		0 ,500
Poids de la chaudière vide		3.050k

Les tubes sont simplement recourbés sur la plaque tubulaire du foyer et mandrinés sur celle de la boîte à fumée. Les joints longitudinaux sont à double rivure. La chaudière est placée transversalement à la voie.

En raison des modifications apportées à l'équilibre de la voiture par l'excès de poids de ce générateur, il a fallu déplacer le bac à charbon.

Le joint à rotule que nous avons décrit dans la note relative au type de la voiture Belpaire ayant donné encore lieu à quelques fuites, on a essayé une disposition que montrent les *fig.* 7 à 10 (Pl. VII); il y a trois joints, la *fig.* 10 donne le détail de l'un d'eux. On voit que les deux bouts de tuyau aboutissant à un même joint sont simplement rapprochés par un presse-étoupes qui leur permet

de tourner l'un dans l'autre. Cette disposition très simple comme construction a donné d'excellents résultats.

Les voitures de ce type avec la nouvelle chaudière fonctionnent actuellement sur plusieurs lignes aux environs de Saint-Ghislain.

La *fig.* 8 (Pl. X) donne le plan de ces lignes, les *fig.*5,6 et 7, les profils de la voie et les itinéraires des voitures. Il y a à Saint-Ghislain sept voitures dont cinq sont en service chaque jour. Sur le graphique les lignes de même pointillé représentent les trajets effectués dans une même journée par une même voiture. Le dimanche l'affluence des voyageurs force à remplacer les voitures par des trains ordinaires. Les profils montrent que principalement aux environs de Bernissart (*fig.* 5), de Saint-Ghislain (*fig.* 7) et de Quiévrain (*fig.* 6), il y a des rampes assez fortes; les rampes ont jusqu'à 16 milimètres par mètre entre Blaton et Bernissart. Aussi l'adhérence se trouve insuffisante pour remorquer régulièrement une voiture supplémentaire.

Au point de vue de la consommation nous avons obtenu les renseignements suivants:

L'ancienne voiture munie de la chaudière en 8 consommait:

6k,300 de charbon par heure de stationnement;
1k,300 de charbon par kilomètre de parcours réel;
29k de charbon pour l'allumage;
0k,005 d'huile par kilomètre parcouru.

Une voiture munie de la nouvelle chaudière consomme:

3k,400 de charbon menu par kilomètre (allumage et stationnement compris);
0k,012 d'huile par kilomètre.

Une autre ne dépensait que 3k,200 de charbon.

Cette machine faisait 100 kilomètres par jour, ce qui

correspond à 320 kilogrammes de charbon ; si l'on retranche 25 kilogrammes pour l'allumage et 45 kilogrammes pour sept heures de stationnement environ, on voit qu'il reste 250 kilogrammes pour 100 kilomètres ou 2^k,500 par kilomètre. D'autres voitures ont donné à peu près 3 kilogrammes de charbon par kilomètre (allumage et stationnement compris) et de 0^k,0065 à 0^k,007 d'huile.

Sur la rampe de 30 milimètres par mètre, à Liège, avec une pression de 9 à 10 atmosphères, les voitures peuvent marcher à la vitesse de 18 kilomètres à l'heure.

Le frein arrête la voiture lancée avec une vitesse de 24 kilomètres à l'heure, sur une longueur de 75 mètres en palier et sur une longueur de 150 mètres en pente de 17 millimètres.

En admettant une charge de 9.000 kilogrammes sur l'essieu moteur et une adhérence de 1/7, l'effort maximum que la machine peut exercer sur les rails est de 1.300 kilogrammes.

La formule $0,65 \frac{pd^2l}{D}$ donne à la pression de 9 kilogrammes un effort de 570 kilogrammes. A la vitesse de 30 kilomètres à l'heure, en admettant une résistance de 6 kilogrammes par tonne, on voit que l'effort de traction devra être pour 22.500 kilogrammes de 135 kilogrammes. Si l'on ajoutait une voiture de 12.000 kilogrammes offrant à la même vitesse une résistance de 3^k,5, cela ferait une nouvelle résistance de 42 kilogrammes sur une rampe de 16 millimètres par mètre, la gravité représenterait une résistance de

$$16 \times (22,5 + 12) = 552^k,1,$$

soit en tout

$$552,1 + 42 + 135 = 739^k,1,$$

chiffre supérieur à celui qui correspond à l'action de la vapeur qui n'est que de 570 kilogrammes.

Sur la rampe de Liège, en admettant une résistance au roulement de 4 kilogrammes pour une vitesse de 15 kilomètres et un poids de la voiture de 19.500 kilogrammes (le nombre de voyageurs étant très faible), la résistance totale serait de 585 + 78 = 663 kilogrammes.

Cette rampe ne peut donc être franchie qu'en diminuant la détente dans une assez forte proportion.

En tout cas on voit que sur les rampes de 16 millimètres la voiture ne peut pas remorquer un autre véhicule. Ce fait se présente sur les lignes qui aboutissent à Saint-Ghislain et sur lesquelles on est souvent obligé d'atteindre les vitesses de 55 kilomètres à l'heure.

On peut critiquer dans cette voiture la position de l'essieu coudé moteur, qui est en avant, de sorte qu'en cas de rupture de cet essieu un accident grave peut se produire. La rupture de la bielle de suspension de la plaque du mécanicien serait aussi une cause de danger.

Pour rendre la voiture plus douce, on a donné aux ressorts une grande élasticité; ces ressorts paraissent un peu faibles. D'une manière générale, les pièces nous semblent un peu légères, mais il serait facile de faire disparaître cet inconvénient. Cette observation s'appliquerait aussi à la caisse, dont quelques parties nous ont paru s'être déformées dans les voitures que nous avons visitées.

VOITURE BELPAIRE.

Type Terneuzen.

Avant d'examiner la voiture nouvelle de M. Belpaire, nous allons parler d'un type qui a été adopté sur le chemin de fer de Malines à Terneuzen et qui diffère du précédent par quelques modifications importantes.

Les premiers essieux coudés en acier Bessemer qui ont été employés sur cette ligne avaient été mal fabri-

qués, au point que l'un d'eux s'est brisé le jour même de sa mise en service. On a cherché naturellement à obtenir des produits de meilleure qualité, mais on a voulu en outre se prémunir contre toutes les éventualités. On a en conséquence pris pour essieu moteur le second essieu, ce qui a conduit à allonger la caisse et à ajouter un quatrième essieu pour ne pas avoir une voiture trop dure.

Cette voiture est représentée *fig.* 1 et 5 (Pl. VI). Elle ne se compose que de trois compartiments : le premier de 3 mètres de longueur réservé à la machine, le deuxième de $1^m,80$ pour le conducteur chef de train, le troisième de $8^m,00$ pour les voyageurs de 3ᵉ classe ; enfin à l'extrémité se trouve une terrasse de 1 mètre de largeur avec escaliers latéraux.

Le compartiment de 3ᵉ classe est garni de quatre banquettes longitudinales pouvant recevoir chacune seize voyageurs, ce qui correspond à $0^m,50$ environ par place. On peut en outre admettre cinq voyageurs sur la plate-forme d'arrière.

Porte-à-faux d'avant			$1^m,10$
Distance du 1ᵉʳ essieu		à l'essieu coudé moteur	2 ,25
—	2ᵉ	au 3ᵉ	2 ,95
—	3ᵉ	au 4ᵉ	5 ,40
Porte-à-faux d'arrière			2 ,40

Le mécanisme est identique à celui de la voiture de M. Belpaire, mais on a disposé sous la plaque, du côté de la bielle de suspension, une barre plate qui se relève de chaque côté pour se rattacher aux longerons. Cette pièce est destinée à supporter la plaque en cas de rupture de la bielle. En outre, on a renforcé la plaque par des cornières placées sur les côtés et par-dessus.

La chaudière forme locomobile, a le foyer et son enveloppe de forme parallélipipédique (Pl. VII, *fig.* 4 et 5) ; elle est surmontée d'un réchauffeur cylindrique A, traversé par

sept tubes en fer B, de $0^m,10$ de diamètre, communiquant d'un côté avec la boîte à fumée C et de l'autre avec la cheminée D ; ce réservoir est réuni au corps cylindrique par une communication E de $0^m,32$ de diamètre. Comme des fuites se produisaient constamment aux joints des tuyaux et des plaques qui ferment les extrémités du réservoir, on a supprimé les tubes et ce réchauffeur ne sert plus que de réservoir de vapeur. La cheminée a dû en conséquence être déviée à partir de la boîte à fumée pour contourner ce récipient. Voici les principales dimensions de la chaudière :

	Foyer.	Enveloppe.
Longueur	$0^m,80$	$1^m,000$
Largeur	0 ,95	1 ,124
Hauteur	1 ,05	1 ,435
Épaisseur	0 ,012	0 ,012
Longueur des tubes en laiton		1 ,360
Diamètre intérieur des tubes		0 ,042
Nombre des tubes		159
Longueur du récipient de vapeur		$1^m,005$
Diamètre — —		0 ,046
Épaisseur — —		0 ,008
Surface de chauffe directe		$3^{mq},510$
Surface de chauffe tubulaire		27 ,170
Timbre		10^{at}

Le joint du tuyau de prise de vapeur entre la chaudière et les cylindres est analogue à celui qui avait été adopté par M. Belpaire dans ses premières voitures, mais de forme un peu plus simple.

Le diamètre des roues motrices, est de	$0^m,95$
La course du piston est de	0 ,32
Le diamètre des cylindres, de	0 ,20

La répartition des poids de la voiture en ordre de marche (sans voyageurs) est la suivante :

	Avant.	Essieu moteur.	3e essieu.	Arrière.
Roues de gauche	3.150^k	5.200^k	2.100^k	2.050^k
Roues de droite	3.250	4.400	3.200	1.750

Pour que cette voiture puisse circuler dans les courbes de petit rayon, il a fallu donner du jeu aux deux essieux extrêmes ; on a adopté les boîtes radiales que nous avons déjà décrites. La chaudière, qui est placée naturellement dans le sens transversal à la voie, n'a que 3 mètres de longueur, ce qui a permis d'établir une communication *a b* (*fig.* 1, Pl. VI) entre le local du conducteur et celui du mécanicien ; une autre porte *c d* permet au conducteur de se rendre dans le compartiment des voyageurs qui donne sur la terrasse par deux portes *e f*, *g h*. Cette voiture, ne contenant que des places de 3ᵉ classe, doit toujours remorquer une voiture supplémentaire (*fig.* 5) qui comprend deux compartiments l'un de 2ᵉ classe pour vingt-six voyageurs, l'autre de 1ʳᵉ classe pour douze voyageurs ; chacune des plate-formes peut encore recevoir cinq voyageurs. Un tablier mobile permet de passer de la voiture à vapeur à l'autre voiture.

Le poids de la voiture supplémentaire vide est de 8.000 kilogrammes. Le compartiment de 1ʳᵉ classe forme salon, de grandes glaces permettent de voir le pays dans toutes les directions.

Le train se compose donc au minimum de deux véhicules pouvant contenir :

Le 1ᵉʳ	69	voyageurs	de 3ᵉ	classe.
Le 2ᵉ	31	—	de 2ᵉ	»
	17	—	de 1ʳᵉ	»
Total . . .	117	voyageurs.		

En cas d'affluence on ajoute une troisième voiture. Le personnel du train se compose d'un mécanicien, d'un chauffeur et d'un ou deux conducteurs. Le dimanche et le jeudi, jour de marché, on supprime les voitures à vapeur et on les remplace par des trains ordinaires.

Il y a trois voitures pour faire le service sur la ligne de Malines à Terneuzen, dont la longueur est de 67 kilo-

mètres. La *fig.* 9 (Pl. X) donne le profil de la ligne et le graphique des trains. Aux environs de Saint-Nicolas se trouvent des rampes de 8 à 9 millimètres par mètre et des courbes dont la plus forte a 350 mètres de rayon. La vitesse en marche atteint 55 à 56 kilomètres, et cette vitesse peut être maintenue sur les rampes de Saint-Nicolas.

Du 1er juin 1881 au 1er juin 1882 :

La voiture n° 2 a parcouru. . . . 33.407 kilom.
Et la voiture n° 3 a parcouru . . 25.174

La voiture n° 1 n'a été mise en service que dans le courant de l'année 1882.

Ces parcours, surtout celui de la voiture n° 2, sont considérables.

Il nous reste à donner le détail du trafic qui a été relevé pendant plusieurs mois de l'année 1879. Le seul changement apporté depuis lors aux voitures consiste dans le remplacement des anciennes chaudières, et M. Lamquet, directeur du chemin de fer de Malines à Terneuzen, nous a affirmé que la consommation du combustible avait plutôt diminué avec les nouveaux générateurs.

Voiture à vapeur.

	MAI.	JUIN.	JUILLET.	AOUT.	SEPTEMBRE.
Parcours.	2.584 kilom.	1.326 kilom.	2.680 kilom.	2.108 kilom.	2.448 kilom.
Nombre de voyageurs.	3.319	2.100	4.194	3.539	4.284
Poids des bagages.	560^{k}	510^{k}	545^{k}	500^{k}	420^{k}
Poids des marchandises. . . .	2.540^{k}	1.325^{k}	670^{k}	330^{k}	730^{k}
Nombre de voyageurs kilométriques.	39.184	24.877	53.788	44.104	53.143
Poids utile transporté à 1 kilomètre.	3.134.720^{k}	1.990.160^{k}	4.303.040^{k}	3.528.220^{k}	4.251.440^{k}
Charbon.	7.700^{k}	3.800	8.500^{k}	6.200^{k}	6.950^{k}
Huile.	48^{k},5	23^{k},5	43^{k},5	39^{k}	44^{k}
Graisse.	6^{k}	5^{k},5	6^{k}	6^{k}	4^{k}
Chanvre.	1^{k}	2^{k}	2^{k}	»	2^{k}

Coût kilométrique pour un parcours annuel de 25.000 kilomètres.

Personnel du train.	0^{f},1326	0^{f},1326	0^{f},1326	0^{f},1326	0^{f},1326
Chauffage et graissage. . . .	0^{f},0584	0^{f},0604	0^{f},0598	0^{f},0572	0^{f},0561
Salaire du personnel du dépôt,	0^{f},0527	0^{f},0527	0^{f},0527	0^{f},0527	0^{f},0527

Locomotive n° 6 à trois essieux faisant le service sur la même ligne.

	MAI.	JUIN.	JUILLET.	AOUT.	SEPTEMBRE.
Parcours.	3.876 kilom.	3.876 kilom.	3.624 kilom.	3.070 kilom.	2.040 kilom.
Charbon.	30.700^k	30.750^k	25.000^k	20.830^k	14.350^k
Huile.	94^k	94^k	72^k,5	63^k	50^k
Graisse.	2^k	2^k	1^k,5	2^k	1^k
Chanvre.	6^k	6^k	3^k	1^k,5	2^k
Coût kilométrique pour un parcours annuel de 25.000 kilomètres.					
Personnel du train.	0^f,2452	0^f,2452	0^f,2452	0^f,2452	0^f,2452
Chauffage et graissage.	0^f,1302	0^f,1304	0^f,1118	0^f,1103	0^f,1171
Salaire du personnel du dépôt.	0^f,0878	0^f,0878	0^f,0878	0^f,0878	0^f,0878

Même en tenant compte du travail plus considérable que peut effectuer la locomotive, l'avantage reste à la voiture à vapeur; il faut d'ailleurs remarquer que ces véhicules sont destinés aux lignes sur lesquelles le trafic n'est pas assez considérable pour permettre d'utiliser complètement la puissance des locomotives. Nous n'avons pas tenu compte de l'intérêt du capital de premier établissement et de l'amortissement qui est beaucoup plus élevé dans un cas que dans l'autre, puisqu'il y a la différence suivante :

1 Locomotive de 22 tonnes. . . .	35.000 fr.
2 Fourgons	11.000
3 Voitures.	22.000
	68.000 fr.
1 Voiture à vapeur	28.000 fr.
1 Voiture supplémentaire	7.000
	35.000 fr.

M. Lamquet admet que les frais pour l'intérêt et l'amortissement s'élèvent à

0^f,6021 pour les trains ordinaires,
0^f,2637 — Belpaire.

Les ressorts de la voiture laissent encore un peu à désirer; on doit les modifier et on espère faire dispa-

raître le tremblement qui se produit en marche surtout à l'arrière.

Le diamètre des cylindres est plus grand que dans les premières voitures Belpaire dans le rapport de $\frac{20}{17}$, c'est-à-dire que l'effort sur les roues est augmenté dans le rapport de $\frac{400}{289}$ et par suite porté de 570 à 789 kilogrammes. Ce changement, grâce à l'augmentation considérable de la surface de chauffe qui atteint $30^{mc},68$, est très favorable. L'adhérence évaluée au 1/7 de la charge sur les roues motrices est de 1.286 kilogrammes. On peut donc dans ces conditions suffire à un trafic important sur une ligne peu accidentée. Si on admet qu'en diminuant la détente on puisse arriver à un effort sur le rail de 900 kilogrammes, la pente limite que l'on pourrait franchir à la vitesse de 30 kilomètres serait

$$900 = i\,(25080 + 8000 + 9100 + 800) + 6 \times (6400 \times 25080)\,\frac{1}{1000} + 3 \times (8000 + 3500)\,\frac{1}{1000}$$

$$i = \frac{900 - 223}{42.980} = 15^{mm},8.$$

VOITURES BELPAIRE.

Deuxième Type.

M. Belpaire voulant faire disparaître les inconvénients qu'il avait reconnus dans son premier système, a fait construire une nouvelle voiture à trois essieux dans laquelle l'essieu moteur est au milieu (Pl. VI, *fig.* 3 et 4); en outre, le mécanisme n'est plus suspendu à une plaque mobile ; il est fixé à la voiture ; l'essieu moteur est libre, une disposition spéciale empêche les déplacements qui pourraient provoquer la rupture des bielles motrices. La

fig. 6 (Pl. VII) représente l'un des côtés de la voiture ; nous désignerons par des lettres accentuées les points symétriques par rapport à l'axe de la voiture de ceux qui sont désignés sur la figure par la même lettre sans accent. Deux bielles d'écartement F G et F' G' reposent sur l'essieu coudé moteur par de larges paliers. Les points F sont fixes ; il résulte de là que, dans les mouvements de l'essieu, son axe ne peut décrire qu'une surface cylindrique dont l'axe serait FF' et le rayon FG. La largeur des paliers G ne permet qu'un déplacement très faible dans le sens transversal, si le coussinet est bien fixé dans la tête de la bielle d'écartement et bien calibré sur l'essieu.

Les bielles motrices EI, E'I' se trouvent entre les bielles d'écartement, et si E est le milieu de la course de la petite tête d'une bielle motrice, l'axe EE' coïncide avec l'axe FF'. Il est évident que les coussinets des bielles étant moins larges que les paliers G, les déplacements latéraux de l'essieu, que n'empêcheraient pas les paliers G, seraient incapables d'exercer un effet de déformation sensible sur les bielles motrices.

Les *fig.* 3 et 4 (Pl. VI) donnent l'ensemble de la voiture. Le local de la machine a une longueur de $2^{m},75$. Ensuite vient un compartiment à bagages, puis un couloir avec escaliers latéraux et le compartiment de 3e classe a quatre bancs longitudinaux de $3^{m},72$ de longueur ; le compartiment suivant est divisé en deux par une cloison longitudinale qui ne s'élève pas jusqu'à la toiture. D'un côté sont les places de la 2e classe, de l'autre celles de 1re ; il n'y a de différence que dans la garniture des sièges. Chacun des bancs a $2^{m},97$ de long ; enfin à l'extrémité est une terrasse avec escaliers latéraux.

Il y a	32	places de	3me	classe,	soit $0^{m},46$	par voyageurs.
—	10	—	2me	—	— $0^{m},60$	—
—	10	—	1re	—	— $0^{m},60$	—

Le conducteur de la voiture peut la parcourir d'un

bout à l'autre. La porte AB établit une communication entre le local de la machine et celui des bagages ; la porte CD permet de passer de ce compartiment dans le couloir. Les compartiments de 3e, 2e et 1re classe sont mis en communication entre eux, avec le couloir et avec la terrasse d'arrière par les portes E, F, G, H, K, L.

L'intervalle entre les bancs est de 0^m,535 en 3e et 2e ; il est sensiblement plus faible en 1re classe à cause de la garniture des dossiers et de la saillie des coussins, de sorte que la largeur de l'espace libre n'est réellement que de 0^m,40.

La longueur totale de la voiture est de 12 mètres ainsi répartis :

Porte-à-faux d'avant......................	1^m,000
Distance du premier au deuxième essieu ..	2^m,160
Distance du deuxième au troisième essieu .	6^m,000
Porte-à-faux d'arrière	2^m,840

L'essieu moteur n'a aucun jeu dans les plaques de garde ; l'essieu d'avant a un jeu de 15 millimètres et celui d'arrière un jeu de 30 millimètres.

La voiture complètement vide pèse 21,500 kilogrammes qui se répartissent comme suit :

Essieu d'avant	7,200^k
Essieu moteur	7,700
Essieu d'arrière.	6,600

Le poids des voyageurs se fait sentir principalement sur l'essieu d'arrière et sur l'essieu moteur.

La chaudière est identique à celle que nous avons déjà décrite et qui est représentée sur les *fig.* 2 et 2 *bis*. Rappelons qu'elle a 25^{mq},882 de surface de chauffe. En avant de la chaudière se trouvent deux fosses *ff* (*fig.* 4) pour le charbon.

Nous allons examiner les parties réellement nouvelles de cette voiture, c'est-à-dire le mode d'installation des

cylindres et de l'essieu moteur, le système de la distribution de vapeur et le frein d'arrière.

Aux longerons LL' de la caisse (Pl. VII, *fig.* 1 à 3) est solidement fixée une traverse M sur laquelle est rivée une plaque verticale NN transversale par rapport à la voie et dont la moitié de droite est seule figurée sur la *fig.* 3. Une autre plaque verticale PP_1 parallèle à l'axe de la voiture et sa symétrique $P'P'_1$ qui n'est pas figurée sont réunies à la plaque NN par des cornières. Une plaque horizontale QQ est assemblée de la même manière avec les plaques NN, PP_1, $P'P'_1$ sur trois de ses côtés et est maintenue en avant par les pièces SS. Enfin la traverse M'M' consolide en avant les plaques PP_1, $P'P'_1$, comme la traverse MM les consolide en arrière; elle est aussi reliée aux pièces SS. On voit que dans ces conditions on dispose d'une plaque horizontale QQ invariablement reliée aux longerons de la voiture. C'est sur elle que vient se fixer par-dessous tout le mécanisme.

Les bielles d'écartement reposent sur l'essieu par des paliers V de $0^m,35$ de largeur. Ces bielles sont terminées à leur autre extrémité par des pistons K logés dans des cylindres de $0^m,18$ de diamètre. Le piston a $0^m,050$ d'épaisseur. Dans le cylindre se trouve en I un cylindre de caoutchouc et en I' un anneau de caoutchouc qui laisse en son milieu le passage de la bielle. Le caoutchouc et le piston remplissent exactement tout le cylindre. M. Belpaire admet que la matière qu'il a employée est incompressible quoique susceptible de se déformer, de sorte que le piston peut osciller en quelque sorte autour de son centre de figure en raison du jeu que possède sa bielle dans le presse-étoupes, mais sans que son point central puisse se déplacer. L'essieu moteur, dans ses mouvements, devra donc avoir le point de son axe correspondant au milieu du palier toujours à la même distance du point central du piston K. Les paliers

sont constitués comme ceux de la plaque mobile du premier système de M. Belpaire; c'est-à-dire que les paliers sont formés de deux parties V, V_1, qui sont réunies par des boulons et dont le plan de séparation est TT_1. La partie V est invariablement fixée à la bielle d'écartement. La partie V_1 est indépendante; les deux parties V, V' appartenant chacune à l'un des paliers font corps avec la pièce AA et par suite leur écartement est invariable.

Les déviations latérales étant à peu près impossibles, à cause de l'équarissage des bielles d'écartement et de la largeur de leur palier, on voit que l'axe de l'essieu moteur ne pourra décrire qu'une surface cylindrique dont l'axe sera la ligne menée par les points centraux KK' des deux pistons.

Les cylindres moteurs (Pl. VIII, *fig.* 2) sont intérieurs, et leur axe n'est distant que de $0^m,099$ de l'axe de la voiture. Ils sont fixés à la plaque QQ_1 qui porte les cylindres des bielles d'écartement; ils ont $0^m,17$ de diamètre et $0^m,32$ de course. Il est bien évident que dans ces conditions, lorsque les pistons sont au milieu de leur course, aucune réaction de l'essieu ne peut se produire pour déformer les bielles, puisque à ce moment la distance de l'axe de l'essieu à la crosse du piston est invariable; même pour les points extrêmes de la course, ces effets ne peuvent avoir une intensité sensible.

On voit sur la figure que les tiroirs sont placés sur le côté et en-dessous des cylindres; les robinets purgeurs sont également en-dessous.

Pour la distribution, M. Belpaire a adopté une disposition assez compliquée en apparence, qui dérive du système Walschaert, mais avec une modification qui rend la distribution complètement indépendante de la position de l'essieu moteur. Ce système fonctionne sur certaines machines de l'État belge, qui font le service sur la rampe de Liège. Voici en quoi il consiste (*fig.* 1 et 2). La tige

du tiroir *ab* est actionnée par la tige *cde*, que la tige *ef* relie à la pièce *fg* invariablement fixée à la crosse du piston du cylindre du même côté. A la crosse *g'* de l'autre piston est fixée une pièce semblable *g'f'* qui commande la tige *f'm'* et celle-ci est articulée avec la tige *m'n'* dont l'extrémité *n'* est fixée à la coulisse *n'k* qui commande par la bielle *kd* le mouvement du point *d* et par suite celui de la tige *ab* du tiroir que nous avons considéré. Il résulte de là que les pièces situées à droite des crosses *g*, *g'* des pistons commandent : celles qui partent du piston de droite, la coulisse de gauche, et réciproquement celles qui partent du piston de gauche, la coulisse de droite. Les cercles *ff'* représentent donc chacun la projection de deux pièces ; par exemple, d'une part la partie supérieure de la pièce *fg* et d'autre part l'articulation qui commande le tiroir placé du côté opposé ; la tige horizontale qui réunirait ces deux points se croiserait dans la marche avec celle qui correspond à l'autre piston. Aussi l'on remarque que la pièce *g'f'* s'élève jusqu'en I et la partie *f'*I (*fig.* 1) représente la pièce doublement recourbée f_1'I*f'* (*fig.* 2). Pour l'autre piston, la forme de la pièce *fg* est tout à fait différente et on peut la suivre sur la figure 2 en *fpsf*$_1$. Quand au système de relevage de la coulisse il n'offre rien de particulier et on peut facilement en suivre les détails sur le dessin (*fig.* 1 et 2).

La voiture est munie de deux freins distincts ; l'un d'eux agit par quatre sabots sur les roues d'avant, il est à la disposition du mécanicien ; l'autre agit dans les mêmes conditions sur les roues d'arrière ; il est manœuvré par le conducteur. La manivelle, qui a la même disposition que dans la première voiture de M. Belpaire, se trouve sur la plate-forme d'arrière ; ce qui caractérise ce dernier frein, c'est son mode de suspension.

Les *fig.* 4 et 6 montrent que le ressort R repose sur une saillie de la boîte à graisse. Ses extrémités R_1

passent dans une boucle A qui est articulée avec un anneau BB, articulé à son tour avec un anneau C semi-circulaire dont l'axe O est fixé à une pièce DD solidement rivée sur les longerons.

On sait que ce mode d'articulation a pour effet de tendre à ramener le ressort dans sa position moyenne lorsqu'il s'en est écarté. L'anneau A n'est que l'extrémité d'une bielle EF dont l'autre extrémité peut tourner autour du boulon F qui traverse la saillie S de la boîte à graisse.

Les sabots sont suspendus chacun à la barre EF située du même côté en un point G. Le détail de la suspension est indiqué sur la *fig.* 7. Le serrage des freins se fait au moyen de la tige HH' amorcée seulement sur la figure et qui se prolonge sur la droite jusqu'à la plate-forme d'arrière où est disposée une transmission de mouvement qui n'a rien de particulier et qui relie la tige HH' à la manivelle du frein. Le sabot de gauche est aussi actionné directement et la bielle KK' produit le serrage du sabot de droite.

Le but de cette disposition est d'éviter les trépidations causées aux voyageurs placés au-dessus de l'essieu d'arrière par le serrage du frein. Il nous paraît à craindre que ce système n'altère rapidement l'élasticité des ressorts; le calage de la roue par le frein fixe le ressort d'une manière invariable dans la position qu'il occupait au moment où cet effet s'est produit. On voit en outre sur le dessin que la distance entre la partie supérieure A des bielles AF et le longeron L est très faible. Il est donc possible, si le ressort n'a pas une grande rigidité, que cette pièce A vienne buter contre le longeron.

La voiture à vapeur n° 14 du type que nous venons de décrire circule entre la gare de Gand-État et celle des Rabots sur un parcours de onze kilomètres. Nous avons vu fonctionner cette voiture, mais dans des conditions défavorables qui ne nous permettent pas de porter un

jugement sur les avantages et les inconvénients du système appliqué au frein d'arrière. Quant au système de guidage de l'essieu moteur par rapport aux bielles motrices, il paraît donner de bons résultats ; l'expérience ne dure que depuis quelques mois et il est impossible, par conséquent, de se prononcer sur la valeur pratique de ce système si ingénieux. L'expérience seule peut montrer si le caoutchouc ne finira pas par s'altérer et par perdre son élasticité et son incompressibilité. Le serrage du plateau ZZ (Pl. VII, *fig.* 1) peut bien corriger l'aplatissement de l'anneau $I'I'_1$; mais pour l'anneau I, il serait indispensable de le remplacer si il venait à se comprimer sensiblement.

VOITURE THOMAS.

La voiture à vapeur de M. Thomas (Pl. IX) se compose en réalité de deux parties juxtaposées dont l'une, qui constitue la voiture proprement dite, est faite dans des conditions à pouvoir être utilisée isolément; l'autre partie qui porte la machine et que nous désignerons par ce mot ne repose que sur un essieu, mais, par un artifice très simple, on s'est réservé le moyen de placer un second essieu afin que cet appareil puisse être, sinon utilisé comme machine, du moins transporté d'un point à un autre comme véhicule.

Nous décrirons rapidement ces deux parties supposées séparées, la machine étant armée de son essieu porteur auxiliaire. La voiture est à deux étages avec longerons très bas relevés à l'arrière comme dans les voitures Vidart. Elle est divisée en trois parties qui sont en allant de l'avant à l'arrière (*fig.* 2, 3), un compartiment à bagages A, un couloir B, avec escaliers latéraux et le compartiment à voyageurs CC', dans lequel les ban-

quettes transversales à la voie sont partagées par un couloir central, de manière à laisser sur chaque rang trois places d'un côté et deux de l'autre. Il y a huit banquettes adossées deux à deux. On peut, en remplaçant le dossier commun à deux banquettes par une cloison avec une porte au droit du couloir, former quatre, trois, deux compartiments isolés, chacun d'eux ayant dix places ou un multiple de dix places. On peut aussi faire des compartiments plus petits de six ou de quatre places. Plusieurs dispositions ont été adoptées, nous ne nous y arrêterons pas, attendu qu'elles n'ont aucune importance au point de vue du système de la voiture.

La caisse est terminée à l'arrière par une plate-forme D avec deux escaliers latéraux ; un troisième escalier EE donne accès à l'étage supérieur. Ce dernier offre la même terrasse et les mêmes dispositions longitudinales que l'étage inférieur, mais les banquettes y sont placées dans le sens de l'axe de la voie et adossées aux parois.

Pour pouvoir passer dans les ouvrages d'art, on a dû diminuer la largeur du premier étage (*fig.* 5) et la réduire à $1^m,94$, d'une paroi à l'autre, la mesure étant prise à l'extérieur. En admettant $0^m,52$ pour la largeur de banquette, il reste un espace libre de $0^m,90$ bien suffisant pour le couloir central; la hauteur sous plafond est de $1^m,835$ au milieu et de $1^m,60$ contre les parois. La place accordée à chaque voyageur est un peu insuffisante comme le montre le tableau suivant :

La banquette de	3 places	a	$1^m,325$	de long,	soit	$0^m,441$	par place
—	2	—	0 ,937	—	—	0 ,468	—
—	20	—	7 ,090	—	—	0 ,395	—

Il ne serait possible de remédier à cet inconvénient que pour l'étage supérieur, où l'on pourrait réduire le nombre maximum des voyageurs à seize, ce qui donnerait à peu près $0^m,50$ pour chacun d'eux.

Le châssis de la voiture est solidement constitué par des longerons en [qui se relèvent à l'arrière de manière à monter au niveau des tampons, c'est-à-dire à $1^m,04$ au-dessus du niveau des rails.

Une traverse en fer en] (*fig.* 2) réunit à l'arrière les longerons et porte les tampons et le crochet d'attelage; les premiers sont munis d'un ressort à feuilles de caoutchouc placé dans le boisseau *b* (*fig.* 3); le crochet d'attelage est muni d'une petite tige qui passe dans la traverse *a* et est maintenu par un boulon; entre celui-ci et la traverse sont deux rondelles de caoutchouc qui forment ressort (*fig.* 2).

Il n'y a pas de chaîne de sûreté, suivant le nouveau système adopté par le *Verein* des chemins de fer allemands; les crochets d'attelage portent un double système de tendeurs dont l'un est plus long que l'autre, mais qui sont supportés par le même boulon d'articulation. En marche, l'un des tendeurs est serré à fond, l'autre, en raison de sa longueur, forme chaînette au-dessous du premier; si le premier tendeur se brise, le second entre en action. Dans le cas où la rupture se ferait dans le boulon d'articulation, les deux parties du train se trouveraient isolées l'une de l'autre.

Sur presque toute la longueur de la voiture le longeron, qui a $0^m,235$ de haut et $0^m,090$ de largeur aux ailes, n'est qu'à $0^m,48$ au-dessus des rails. Pour pouvoir mettre à l'avant, des tampons et un crochet d'attelage, on remplace la traverse en U par une plaque de fer *mm* (*fig.* 2) de 12 millimètres d'épaisseur dont la forme est à peu près identique à celle de la plaque *dd*, que l'on voit à l'avant de la machine (*fig.* 5). Cette plaque joue d'ailleurs un certain rôle dans l'assemblage de la voiture et de la machine. Les détails que nous avons donnés plus haut, au sujet des tampons et du crochet d'attelage, suffisent pour reconnaître qu'il est très facile de démonter ces pièces

lorsque l'on veut réunir les deux parties de la voiture à vapeur. La plaque est fixée à sa partie inférieure aux longerons, consolidée par des équerres et renforcée à la partie supérieure par des jambes de force inclinées *g* qui butent contre une traverse rivée aux longerons (*fig.* 2).

La voiture repose sur deux essieux :

Porte-à-faux d'avant	2^m,340
Entre-axe des essieux	4 ,335
Porte-à-faux d'arrière	2 ,750

L'essieu d'avant n'a pas de jeu latéral, l'essieu d'arrière a ses boîtes à graisse munies de plans inclinés du système Beuthen ; leur inclinaison est d'environ $\frac{13}{61}$. Cette disposition permet un déplacement de 20 millimètres de part et d'autre de la position moyenne et a sur celui des boîtes radiales l'avantage de donner de la stabilité, le poids du véhicule tendant à ramener l'essieu dans sa position moyenne lorsque le profil de la voie l'écarte de cette position.

Un réservoir à eau *e*, *e*, *e* (*fig.* 2) est placé sous la voiture entre les essieux; il a 2^m,20 de large, 1^m,90 de long et 0^m,40 de hauteur, soit une capacité de 1.660 litres environ.

Entre le couloir d'accès B (*fig.* 3) et le compartiment des voyageurs, se trouvent de part et d'autre du couloir central des espaces libres *f*, *f'*, *f''*; on a placé en *f'* un réservoir vertical à section rectangulaire de 0^m,42 sur 0^m,85 et de 1^m,60 de hauteur. Un réservoir semblable est placé symétriquement en *f*, et l'espace *f''* que ce dernier récipient laisse libre, sert d'armoire.

Ces deux réservoirs ont chacun une capacité de 570 litres. La capacité totale des trois récipients *e*, *f*, *f'*, est donc de 2.800 litres.

Les récipients verticaux communiquent avec le réservoir placé sous la voiture par des tuyaux indépendants *l*, *l* (*fig.* 2) qui passent sous l'essieu d'avant; ils sont surmontés chacun d'un tuyau *h*, tracé en ponctué sur la *fig.* 2, qui aboutit sur la voiture dans l'espace laissé libre par suite du rétrécissement de l'étage supérieur. C'est par cette ouverture *h'* (*fig.* 5) que l'on remplit d'eau les réservoirs, et sa position est tout à fait semblable par rapport aux rails à celle qu'occupe le tuyau de prise d'eau des tenders; aucune disposition spéciale n'est donc à prendre dans les gares pour l'alimentation qui se fait aux grues hydrauliques des machines et avec les appareils usuels.

Si l'on tient compte de la légèreté de l'extrémité d'arrière de la voiture, on voit que le centre de gravité tombe sensiblement au milieu de l'entre-axe et que dès lors sa stabilité est aussi complète que possible. Quand les réservoirs d'eau sont plein, le centre de gravité est ramené du côté de l'essieu d'avant. Il paraît que la voiture vide pèse 13.200 kilogrammes. Si l'on ajoute le poids de 80 voyageurs ou 5.600 kilogrammes, et celui de l'eau d'alimentation 2.800 kilogrammes, on trouve un poids total de 21.600 kilogrammes.

La machine repose sur un châssis formé de deux longerons identiques comme section, écartement et hauteur au-dessus du rail à ceux de la voiture. Ces longerons ont $2^{m},80$ de longueur. Ils sont réunis à l'arrière par une traverse formée d'une plaque de fer de 13 millimètres d'épaisseur, de forme rectangulaire, ayant la largeur de la voiture et $0^{m},65$ environ de hauteur.

A l'avant, la traverse est également formée d'une plaque de fer de 13 millimètres, de même dimension que celle de l'arrière, mais découpée en son milieu comme celle d'avant de la voiture; cette plaque est d'ailleurs représentée sur la *fig.* 5.

Les tampons et le crochet d'attelage sont fixés à l'avant sur cette pièce, et sont identiques à ceux que nous avons déjà décrits ; comme ils sont au-dessus des longerons, on a dû les soutenir au moyen d'équerres. D'ailleurs les plaques d'avant et d'arrière sont consolidées par une série de plaques de fer verticales disposées en long et en travers et réunies entre elles par des cornières, comme on le voit sur la *fig.* 4. On a utilisé les deux compartiments symétriques, dont l'un, celui de gauche, est figuré en Z pour en faire des réservoirs d'eau. Sur la plaque d'avant, on a réservé les trous nécessaires pour y appliquer au moyen de trois écrous une pièce *t* (*fig.* 1) destinée à recevoir un essieu. On voit sur la *fig.* 2 (Pl. X) que cette pièce est coupée suivant un plan M N ; la partie inférieure est mobile autour de l'axe O ; si on la laisse retomber après avoir défait l'écrou P, on peut mettre en place, en le poussant sur les rails, un essieu à roues de $0^{m},55$; on referme alors le palier et on fixe les deux parties avec l'écrou P. Il a fallu entailler la plaque d'avant et la caisse à eau contiguë de manière à *ménager* l'espace libre nécessaire aux roues. Munie de cet essieu, la machine est assez stable pour pouvoir circuler sur les voies attelée à un train. Le mécanisme moteur est disposé comme celui des premières voitures de M. Belpaire. Les cylindres sont intérieurs ; ils reposent sur une plaque horizontale de 12 milimètres d'épaisseur, $2^{m},30$ de longueur et $0^{m},98$ de largeur. Cette pièce est consolidée par un fer à cornières ⊤ placé au-dessous d'elle sur tout son pourtour ; elle est fixée à l'avant au moyen d'une bielle à triple articulation dont l'extrémité supérieure est attachée à la plaque d'avant ; elle est boulonnée en arrière sur deux paliers (*fig.* 4, Pl. IX), dont les coussinets entourent l'axe moteur. Ces paliers n'ont que $0^{m},42$ de largeur. Pour empêcher la plaque de tomber sur la voie en cas de rupture de la bielle d'accouplement,

on a fixé sur les réservoirs à eau Z deux tiges de fer qui se recourbent en forme de crochet au-dessous de la plaque de manière à pouvoir la recevoir et la maintenir. Les cylindres ont $0^m,22$ de diamètre et $0^m,36$ de course, ils sont très rapprochés de l'axe de la machine ; aussi a-t-on dû mettre les tiroirs du côté extérieur et vers le haut des cylindres.

Le châssis repose à l'avant d'une manière directe sur l'essieu auxiliaire ; à l'arrière il y a quatre ressorts dont deux sont supportés par les fusées *v* de l'essieu coudé moteur (*fig.* 4) et deux par les paliers *i* qui soutiennent la plaque des cylindres. Cette disposition est très heureuse parce que, en cas de rupture de l'une des manivelles de l'essieu, elle peut largement contribuer à maintenir les roues sur les rails. On voit sur la figure que les plaques de garde correspondant aux quatre ressorts sont très solidement reliées à des traverses fixées elles-mêmes aux longerons. Toute cette partie de la machine nous paraît bien étudiée et de nature à atténuer singulièrement les inconvénients que nous exposerons plus loin.

Sur le châssis est placée une plate-forme qui supporte la chaudière M et la caisse à charbon N (*fig.* 1 et 3, Pl. IX). La chaudière, de forme cylindrique, est placée transversalement à la voie, elle occupe toute la largeur de la voiture.

Elle est représentée par les *fig.* 8 et 9 (Pl. VIII). Le foyer et l'enveloppe du foyer sont de formes paraléllipipédiques, le corps cylindrique est surmonté d'un dôme à vapeur.

	Foyer.	Enveloppe du foyer.
Longueur	$0^m,55$	$0^m,73$
Largeur	0 ,95	1 ,156
Hauteur	1 ,01	1 ,291
Épaisseur	0 ,014	0 ,013
Longueur des tubes en fer		1 ,762

Diamètre intérieur des tubes	0 ,045
Épaisseur des tubes.	0 ,002
Nombre des tubes.	127
Diamètre du corps cylindrique	0m,90
Diamètre du dôme de vapeur	0 ,60
Hauteur	0 ,93
Surface de chauffe directe	3mq,254
Surface de chauffe tubulaire.	30 ,823
Timbre	10k
Poids de la chaudière vide.	3.300k

La grille est légèrement inclinée à partir de la porte du foyer; les tubes sont en fer, mais leur extrémité, du côté de la plaque tubulaire du foyer, est en cuivre, sur une longueur de 0m,15 environ. Le fer et le cuivre sont taillés en biseau et brasés. Cette disposition offre cet avantage que, le cuivre étant plus souple que le fer, l'ajutage en cuivre se prête aux dilatations provoquées par le chauffage et on évite ainsi les fuites qui se produisent si souvent avec les tubes complètement en fer; ce système, croyons-nous, est d'ailleurs très employé sur les chemins de fer russes.

La porte de chargement a naturellement dû être placée sur le côté du foyer, puisque la chaudière remplit toute la largeur de la voiture; mais une porte auxiliaire existe en face de la plaque tubulaire. En outre, des portes sont ménagées dans les deux parois opposées du local de la machine, de manière à permettre la visite et le nettoyage des tubes en laissant la chaudière en place. La cheminée est recourbée au-dessus de la boîte à fumée de manière à être ramenée dans l'axe de la machine. Dans la plate-forme de la voiture (*fig*. 3, Pl. IX) on a ménagé des ouvertures *u u'*, fermées habituellement par des portes à charnières, qui permettent d'examiner le mécanisme, même en marche. La caisse à charbon N, d'une capacité de 550 litres, est montée sur roulettes et peut tourner autour d'un gond *w*, de manière à dégager

la plaque u'' qui est aussi mobile et montée à charnières. Enfin, sous la chaudière M, la plate-forme est évidée de telle sorte que le mécanicien peut constamment surveiller l'essieu moteur, qu'il voit parfaitement par le jour qui existe entre la chaudière et le bac à charbon.

Les réservoirs à eau Z (*fig.* 4) ont $1^m,35$ de long, $0^m,663$ de large et $0^m,525$ de hauteur, soit une capacité de 950 litres pour les deux. On les remplit au moyen des bouches z' (*fig.* 1) qui communiquent avec les réservoirs par un tuyau tracé en ponctué sur la figure.

Il nous reste à parler de quelques dispositions de détail. Le tuyau de prise de vapeur est divisé en trois parties réunies au moyen de deux presse-étoupes qui permettent un jeu assez étendu.

Le levier de changement de marche λ (*fig.* 1 et 3) est à vis ; il pivote autour d'un axe horizontal qui lui est commun avec le régulateur μ ; celui-ci se meut dans un secteur à plan vertical et peut être fixé en un point quelconque de sa course au moyen d'une simple vis de pression. Un robinet placé sur le tube de prise de vapeur près de la chaudière permet en outre d'interrompre toute communication entre les cylindres et la chaudière.

Le frein à main ρ (*fig.* 3) est placé dans l'angle du local de la machine.

Quand la voiture est réunie à la machine, le frein peut être manœuvré de trois points différents par les manivelles ρ à l'avant (*fig.* 3), ρ' dans le fourgon des bagages (*fig.* 2 et 3), ρ'' sur la plate-forme d'arrière (*fig.* 2).

Sur cette même plate-forme se trouve (*fig.* 2) : une corde π avec laquelle le conducteur peut faire jouer le sifflet de la machine et l'embouchure d'un tuyau acoustique τ qui aboutit dans le local de la machine en avant de la boîte à fumée.

Les sabots des freins agissent sur les roues de l'essieu du milieu seulement. Les sabots sont composés de deux parties : l'une s'applique sur la surface de roulement de longueur et a $0^m,35$ de longueur environ ; l'autre, d'ailleurs invariablement fixée à la première, est beaucoup plus étroite et agit sur le boudin de la roue. Ces sabots sont faits en stahlguss.

La réunion de la machine à la voiture se fait facilement. Les longerons sont identiques de forme ; en réalité, on fabrique un longeron de la longueur totale de la voiture et on le coupe ensuite en deux parties qui devront avoir dans la voiture assemblée les mêmes positions respectives que dans le longeron d'où ils proviennent. Lorsque la voiture et la machine sont amenées au contact et les longerons sur le prolongement les uns des autres, on les réunit par une pièce de fer en [ayant exactement à l'extérieur la forme intérieure des longerons de la voiture. La *fig.* 1 (Pl. X) donne la coupe de l'assemblage. Les éclisses ont $1^m,40$ de longueur et 20 millimètres d'épaisseur. Elles sont fixées aux longerons chacune par douze écrous répartis sur deux lignes horizontales. En outre, dans les plaques formant traverses de la voiture à l'avant et de la machine à l'arrière, on a ménagé un certain nombre de trous pour y placer des boulons. La flexion des ressorts peut faire que la machine ne se présente pas exactement à la hauteur voulue pour que les longerons soient bien dans le prolongement les uns des autres. Pour obvier à cet inconvénient, la machine porte de chaque côté une pièce de fer boulonnée et faisant saillie sous forme de cône à axe horizontal parallèle à la voie. Des trous sont ménagés dans la plaque correspondante de la voiture, et cet appareil en guidant les deux véhicules permet de les ajuster rapidement.

On peut alors supprimer l'essieu porteur auxiliaire. Le centre de gravité de la machine étant en avant de l'es-

sieu moteur, il résulte de la suppression de l'essieu auxiliaire que la machine tend à basculer autour de cet essieu. Les charges sur les essieux subissent, par suite, une modification dont on peut assez facilement déterminer la nature au moyen des hypothèses suivantes :

Admettons que la machine avec son essieu porteur et la voiture aient leurs longerons exactement au même niveau, la machine et la voiture étant séparées, munies chacune de leurs approvisionnements en eau et en charbon, mais sans voyageurs.

Admettons que le poids de l'essieu moteur et de la partie de la plaque qu'il supporte directement s'élève à 2.100 kilogrammes, que les autres essieux pèsent 800 kilogrammes. Désignons par P_0, P_1, P_2, P_3, les charges sur chacun des quatre essieux, nous aurons, en tenant compte autant que possible de tous les éléments :

P_0	P_1	P_2	P_3
2.869k	7.031k	7.880k	6.520k.

Cette répartition s'applique aux véhicules séparés, et par suite de l'hypothèse faite sur les positions des *longerons*, elle ne changera pas si on forme l'assemblage des deux parties de la voiture.

Supprimons l'essieu moteur, la charge P_0 se trouvera reportée sur celles des autres essieux qui augmenteront de p_0, p_1, p_2, ces quantités positives ou négatives étant telles que $P_0 = p_1 + p_2 + p_3$. Il faut en outre que, si l'on désigne par $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$, la flexion en millimètre des ressorts de chaque essieu pour une surcharge de 1.000 kilogrammes et que D_2, D_3, soient les distances du premier au deuxième essieu et du deuxième au troisième, on ait la relation :

$$\frac{\varepsilon_1 p_1 - \varepsilon_2 p_2}{D_2} = \frac{\varepsilon_2 p_2 - \varepsilon_3 p_3}{D_3}$$

qui exprime que les points de suspension des ressorts

aux longerons restent invariables par rapport aux longerons eux-mêmes, en remplaçant, pour simplifier le calcul, le déplacement des deux points d'attache d'un ressort par celui du milieu de la ligne qui joint ces deux points.

Les ressorts ont les dimensions suivantes :

	ESSIEU D'AVANT.		ESSIEUX DE LA VOITURE.
	Ressort intérieur.	Ressort extérieur.	Ressorts.
Longueur du ressort	1.000mm	1.000mm	1.700mm
Largeur de la lame	90mm	90mm	90mm
Épaisseur de la lame	12mm	12mm	13mm
Nombre de lames	8	10	15
Flexion par 1.000 kilogr.	15,00mm	12,00mm	32,00mm
Flexion par 1.000 k. de charge sur l'essieu.	3mm,375		16mm

On déduit de là les valeurs suivantes de p_1, p_2, p_3 :

p_1	p_2	p_3
+ 3.755k	−92k,0	−794k,8

c'est-à-dire que les charges sur les essieux deviennent

P'_1	P'_2	P'_3
10.716k	7.788k	5.726k

Si l'on suppose maintenant que quatre-vingts voyageurs montent dans la voiture, et que l'on tienne compte de la disposition des places, on trouve pour chaque essieu des surcharges

Ψ_1	Ψ_2	Ψ_3
−231k	+ 1.060k	+ 4.771k

soit, pour les charges sur les essieux,

P''_1	P''_2	P''_3
10.555k	8.848k	10.497k

et pour les charges sur les rails, en ajoutant le poids des essieux calculés comme nous l'avons dit plus haut :

P'''_1	P'''_2	P'''_3
12.655k	9.648k	11.297k
	33.500 kil.	

Il nous reste à parler du service fait par cette voiture. Elle a d'abord été autorisée sur la ligne de Darmstadt à Wiebelsbach et Erbach, dont la *fig.* 10 (Pl. X) donne le profil. Elle faisait chaque jour un voyage aller et retour, soit 102k,78, qui est représenté sur le graphique. L'administration avait limité la vitesse à 30 kilomètres. La voiture à vapeur remorquait, dans ces conditions, sur des rampes qui s'élèvent jusqu'à 14 millimètres par mètre, de six à huit voitures.

Plus tard, on a autorisé une marche plus rapide (45 kilomètres à l'heure); on a alors fait, avec deux voitures, le service de Rosengarten à Mannheim et à Bensheim. Le graphique (*fig.* 11) donne les trains faits par les deux voitures qui circulent indifféremment sur les deux lignes, de manière à faire chacune environ 198 kilomètres par jour.

Nous avons parcouru la ligne de Rosengarten à Mannheim. La voiture à vapeur remorquait une voiture ordinaire à voyageurs; à la vitesse de 55 kilomètres, l'allure était très douce, et la machine était loin d'utiliser toute sa puissance, puisque la pression tendait constamment à monter. Elle franchissait avec la plus grande facilité les courbes de rayon de 400 mètres, même à grande vitesse. Il est, paraît-il, souvent arrivé que sur ces lignes on ajoutait à la voiture à vapeur 4, 6, 8 et 9 voitures à voyageurs.

La consommation de charbon est très faible, d'après les renseignements qui nous ont été donnés, et la feuille du mécanicien de l'une des voitures indiquait une consommation de charbon de 2k,25 environ par kilomètre de train.

Il faut d'ailleurs ajouter que le charbon nous a paru

d'excellente qualité et le chauffeur très habile. Il y a, pour chaque train : un mécanicien, un chauffeur et un conducteur.

En résumé cette voiture, dont le principe essentiel est celui du premier type de M. Belpaire, est très bien combinée, et tous les détails d'installation sont admirablement compris, tant au point de vue de la commodité du service que de la solidité du véhicule et de la douceur de l'allure.

La séparation de la voiture et de la machine est un avantage en ce sens qu'il permet de séparer la machine pour la conduire aux ateliers, qui peuvent souvent être éloignés de la ligne sur laquelle elle circule; mais nous ne pensons pas qu'en pratique il soit possible d'utiliser la voiture isolée autrement que comme un véhicule ordinaire. Pour la réunir à une autre machine, il faudrait que les longerons et les éclisses ainsi que les plaques verticales du joint fussent tous faits non seulement sur les mêmes gabarits, mais avec une précision extrême.

Le système donne lieu à deux objections graves. La voiture a $4^{m},57$ de hauteur au-dessus des rails, ce qui rend impossible sa circulation dans le plus grand nombre des ouvrages d'art; il faudrait donc très probablement démonter l'étage supérieur pour la conduire depuis les ateliers de construction jusqu'au point où on devrait l'utiliser, et remonter sur place ce premier étage. La voiture ne pourrait être employée que sur des lignes ne présentant ni tunnel ni ouvrage d'art de moins de $4^{m},80$ de hauteur au-dessus des rails dans l'axe de la voie (Voir *fig.* 5, Pl. IX).

Enfin, la charge considérable de l'essieu moteur est de nature à provoquer sa rupture, et comme cet essieu est à l'avant, les suites d'une telle rupture sont toujours à craindre. Nous reconnaissons d'ailleurs que M. Thomas a accumulé en quelque sorte toutes les précautions

pour empêcher l'essieu rompu de tomber et pour le maintenir en place jusqu'à ce que le train ait pu être arrêté.

La voiture doit toujours marcher machine en avant. On doit la tourner dans les gares extrêmes; l'empatement étant de 7^m,355, il faut des plaques tournantes d'un assez grand diamètre. M. Thomas a imaginé une disposition simple et peu coûteuse qui permet d'utiliser pour cette manœuvre des plaques de 6 mètres seulement de diamètre; les rails AA′ de 6 mètres sont remplacés par des rails de 8 mètres qui dépassent par suite de 1 mètre environ (*fig.* 4, Pl. X) le bord de la plaque. Les bouts LF, L′F′ de ces rails sont soutenus par deux pièces de fer BB formées avec des vieux rails et relevées à leurs extrémités B′B′ (*fig.* 3). En C, C, C′, C′, sont des paliers boulonnés sur les pièces B′B′ et dans lesquels tournent les axes E, E′ de deux roulettes R, R′, qui roulent sur un rail circulaire DD de 7^m,54 de diamètre.

Une troisième roulette P de plus petit rayon est fixée de la même manière entre les deux rails AF, A′F′; lorsque la plaque n'est pas chargée, les roulettes R s'appliquent seules sur le rail circulaire DD et la roulette P, ne touche pas ce même rail.

Quand la machine est montée sur la plaque, le milieu des pièces BB s'abaisse, et les trois roulettes R, R′, P, s'appliquent à la fois sur le rail circulaire. Cet appareil fonctionne depuis plus de deux ans et a donné les meilleurs résultats.

CONCLUSIONS

Les différents systèmes que nous venons d'exposer ont été appliqués à une exploitation régulière.

Pour comparer les quatre types de voiture, nous avons

représenté dans la Pl. X, *fig.* 12, les positions relatives des essieux. Le tableau suivant résume les données principales de chaque type :

	1er type BELPAIRE.	Voiture de TERNEUZEN	2e type BELPAIRE.	Voiture THOMAS.
Longueur totale de la voiture sans les tampons.	11m,39	14m,10	12m,00	12m,18
Écartement des essieux extrêmes	6m,80	10m,60	8m,16	7m,335
Poids de la voiture en ordre de marche, sans voyageurs.. . .	18950k	25100k	21500k	27900k
Nombre de places de 1re classe.	22	»	10	6
Id. 2e classe.	»	»	10	35
Id. 3e classe.	22	69	32	40
Charge sur l'essieu moteur (maximum).	9000k	10 à 10500k	8000 à 9000k	12650k (?)
Diamètre des roues motrices. .	0m,98	0m,95	0m,98	1m,086
Timbre de la chaudière. . . .	10at	10at	10at	10k
Effort moyen sur le rail $0,65 \frac{pd^2.l}{D}$	570k	815k	570k	1040k
Diamètre des cylindres..	0m,17	0m,20	0m,17	0m,22
Surface de chauffe.	25mq,882	30mq,680	25mq,882	34mq,083
Course des pistons.	0m,32	0m,32	0m,32	0m,36

Le premier type de M. Belpaire fonctionne d'une manière satisfaisante, mais cette voiture manque de puissance et ne peut, sur un profil un peu accidenté, remorquer une autre voiture. Elle convient sur des lignes à trafic extrêmement faible, où elle peut circuler entre des trains même à marche rapide. Le deuxième type ne nous paraît pas encore avoir été soumis à une expérience assez suivie pour que l'on n'ait pas à craindre des mécomptes ; il est impossible de se prononcer sur les innovations établies dans ce système.

La voiture de la ligne de Terneuzen est puissante, elle peut suffire à un trafic même chargé, et jouit sous ce rapport d'avantages précieux, puisqu'elle peut remorquer facilement deux voitures ordinaires sur un profil dont les rampes ne dépassent pas 10 millimètres. Il faut d'ailleurs toujours lui adjoindre une voiture pour les premières et deuxièmes classes. L'essieu moteur n'étant pas

à l'avant, les conséquences de la rupture de cet essieu coudé ne sont pas à craindre. L'inconvénient du système est la distance des essieux extrêmes qui s'élève à $10^{m},60$, ce qui nécessite l'emploi de plaques tournantes de grandes dimensions aux extrémités de la ligne. La voiture Thomas est la plus puissante, elle peut marcher à grande vitesse et remorquer de véritables trains en cas de nécessité. On ne peut lui reprocher que la charge excessive des essieux extrêmes et surtout celle de l'essieu coudé moteur placé à l'avant. Il est juste d'ajouter que les dispositions des quatre ressorts de cet essieu atténuent singulièrement les dangers d'une rupture. Un autre inconvénient grave de ce système est la hauteur de la voiture qui ne pourrait circuler en France que sur les lignes ne présentant ni tunnels ni ponts par-dessus. On voit, en effet, sur la *fig.* 5, Pl. IX, que l'étage supérieur dépasse le profil du gabarit de chargement de la Compagnie d'Orléans que nous avons pris pour exemple. Il faudrait, pour conduire la voiture des ateliers de construction au point où elle serait utilisée, démonter l'étage supérieur et le rétablir au point d'arrivée. Quant à la séparation de la machine et de la voiture, elle ne nous paraît pas présenter d'importance pratique réelle pour les raisons que nous avons données précédemment. Nous rappellerons encore les dispositions de détail de cette voiture qui sont toutes bien conçues et réalisées de la manière la plus heureuse.

Nous n'avons pu nous procurer de renseignements précis sur les prix de revient de ces différentes voitures, ils paraissent devoir être peu différents les uns des autres et compris entre 28.000 et 33.000 fr.

Nous devons, en terminant, exprimer à MM. Belpaire, administrateur, et Huberti, ingénieur des chemins de fer de l'État belge, à M. Chorazy, ingénieur des usines de la Croyère, à M. Thomas, directeur des chemins de fer

Louis-de-Hesse, et à M. Lamquet, directeur du chemin de fer de Malines à Terneuzen, tous nos remerciements pour l'obligeance avec laquelle ils ont bien voulu nous fournir tous les renseignements que nous leur avons demandés.

Novembre 1882.

DISCOURS

PRONONCÉ AUX FUNÉRAILLES

DE M. GENTIL

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES

Le 1er avril 1884.

Par M. G. DE NERVILLE, Inspecteur général des mines,
Vice-président du conseil général des mines.

Messieurs, j'ai la douloureuse mission d'apporter sur cette tombe un dernier adieu à notre camarade Ernest Gentil, qu'une mort, je puis dire prématurée, tant il avait conservé les apparences de la jeunesse et de la force, nous a enlevé après quelques semaines d'une cruelle maladie.

Né à Paris le 30 janvier 1820, et doué des plus brillantes qualités, Ernest Gentil était reçu dans les premiers, dès l'âge de 16 ans, à l'École polytechnique. Il entrait à l'École des mines le 15 novembre 1839, était nommé aspirant le 28 janvier 1845, et ingénieur ordinaire le 10 octobre 1846.

Dès l'année 1844, il était successivement chargé du service minéralogique des départements de Seine-et-Marne, de Seine-et-Oise et du Loiret.

Des aptitudes remarquables le portaient à consacrer ses loisirs à l'étude approfondie des mathématiques pures, et lui valaient, presque au début de sa carrière,

l'honneur d'être choisi pour diriger l'instruction mathématique de l'un des fils du roi Louis-Philippe.

Il trouvait le temps, à la même époque, au milieu de ses occupations variées, de publier un *Traité d'algèbre* en deux volumes, d'un plan complètement nouveau et d'une incontestable valeur.

Attaché, de 1854 à 1862, au contrôle du chemin de fer d'Orléans et prolongements, il mettait à profit ce service pour s'adonner à des études et à des expériences sur les freins.

Chevalier de la Légion d'honneur le 18 décembre 1858, ingénieur en chef le 7 février 1863, il resta pendant près de 16 ans à la tête de l'arrondissement minéralogique de Nantes, et ne le quitta que pour prendre possession, le 1er juin 1878, du service de l'arrondissement minéralogique de Paris et de l'Inspection des carrières de Paris et du département de la Seine. Il signala le cours de ces dernières fonctions par la publication d'une intéressante *Carte des exploitations minérales du département de la Seine*, qu'il a cherché, depuis, à faire prendre comme type dans quelques départements de la division qu'il inspectait.

Inspecteur général le 14 mai 1879 et chargé de la division du Nord-Est, il y trouva dès son arrivée à étudier et à résoudre de nombreuses et difficiles questions de salines, et de demandes en concessions de mines de fer, que la vivacité des compétitions surtout rendait très épineuses, mais dans la solution desquelles la droiture de son caractère et la justesse de son esprit l'ont toujours guidé et maintenu dans une ligne irréprochable.

Dans toute sa carrière, notre camarade Ernest Gentil a toujours laissé les plus honorables souvenirs : cœur loyal, esprit aimable et courtois, homme du monde d'une grande distinction, cultivant à ses moments perdus tous les arts, ingénieur toujours exact dans l'accomplissement

de ses devoirs, Ernest Gentil emporte l'estime affectueuse et les regrets sympathiques de tous ceux qui l'ont connu.

Adieu Gentil, cher camarade, ton amical souvenir ne s'effacera pas de notre mémoire.

ÉTUDE
SUR
LES ÉRUPTIONS DU HARTZ

Par M. TERMIER, Ingénieur des mines.

Ainsi que l'indique son titre, le présent mémoire a pour objet, non pas la description géologique complète et détaillée du Hartz, mais l'étude de quelques points particulièrement intéressants au point de vue de la géologie générale, la solution au moins approximative de quelques-uns des problèmes que ce curieux pays ne cesse de poser aux chercheurs.

M. l'inspecteur général de Chancourtois avait eu la bonté de m'envoyer, avant mon départ pour l'Allemagne, au mois d'août 1882 une liste des questions sur lesquelles il désirait obtenir des renseignements, et, en même temps, une lettre de recommandation pour M. le conseiller intime Hauchecorne, directeur de la *Berg-Akademie* de Berlin et du service de la carte géologique allemande ; grâce à cette lettre, celui-ci me recommanda à son tour à ses collègues du Hartz et tout spécialement à M. le docteur Lossen, auteur d'une très remarquable carte de la région.

Qu'il me soit permis de remercier ici une fois pour toutes ce dernier savant de son bienveillant accueil, et de l'empressement avec lequel il a bien voulu diriger lui-

même mes courses et m'éclairer de son expérience.

Les pages qui vont suivre résultent soit des enseignements oraux de M. Lossen, soit des nombreux mémoires qu'il a publié dans le *Bulletin de la Société géologique allemande*. Les recherches de M. Kayser sur le métamorphisme des diabases, les travaux de Streng et de Fuchs sur les roches éruptives du Hartz, travaux malheureusement bien anciens déjà, et faits presque exclusivement au point de vue minéralogique, m'ont fourni quelques analyses de roches, qui trouveront leur place dans mes descriptions.

Dans un premier chapitre, ou chapitre préliminaire, j'exposerai brièvement la constitution géologique du Hartz en général, la nature et l'âge de ses formations sédimentaires ; puis, dans une série de chapitres, j'aborderai successivement l'examen des questions spéciales que je me suis proposé de traiter, et qui sont les suivantes :

1° Étude des diabases du Hartz, du métamorphisme qui s'y rattache, des gîtes avec lesquels elles sont en rapport ;

2° Étude des porphyres de toute espèce et de tout âge, et des gîtes de fer qui leur sont subordonnés ;

3° Étude des gabbros du flanc ouest du Brocken ;

4° Étude du granite, de son âge, de son rôle probable dans le soulèvement du Hartz et dans la formation des filons remplis plus tard par des émanations métallifères.

CHAPITRE I

DESCRIPTION GÉNÉRALE DU HARTZ

A l'exception des massifs granitiques du Brocken, du Rammberg et de l'Ockerthal, et de la formation secon-

daire du bord septentrional, toutes les montagnes du Hartz sont constituées par des assises paléozoïques interrompues çà et là par des épanchements de diabase ou des dykes de porphyre. Un simple coup d'œil sur la carte géologique de M. Lossen donne une idée fort exacte de l'orographie générale du massif.

Longtemps confondus sous la dénomination universelle de schistes anciens, ces terrains paléozoïques ont été classés peu à peu, à la suite des remarquables travaux paléontologiques de F. A. Rœmer. Relativement à l'âge de ces divers sédiments, il ne reste plus aujourd'hui à résoudre que des questions de détail, d'intérêt local et secondaire.

Ces couches appartiennent au silurien, au dévonien et au carbonifère ; les dépôts permiens n'ont pénétré que dans des golfes plus ou moins largement ouverts à l'ouest, au sud, à l'est du massif, car déjà, à cette époque du Rothliegende, un premier soulèvement avait fait un îlot de tout le Hartz actuel. Après une longue période de calme, qui dura jusqu'à la fin du dépôt de la craie inférieure, le rivage nord de l'îlot subit un nouveau soulèvement, qui redressa contre lui une longue bande d'assises secondaires.

Ainsi, massif intérieur silurien, dévonien ou carbonifère, golfes permiens ou triasiques à l'ouest, au sud, à l'est et au nord-est, bande étroite de trias, de jurassique et de crétacé au nord : tel est le Hartz.

1° Silurien (*).

Le silurien du Hartz comprend quatre termes principaux qui sont :

1° Grauwacke de Tanne;

(*) Von Groddeck, *Grundriss zur Geognosie des Harzes.*

2° Schistes de Wieda;
3° Schistes siliceux;
4° Schistes de Zorge.

1° *Grauwacke de Tanne.* — La Grauwacke de Tanne forme une très longue bande dirigée sensiblement est-ouest, qui sépare le Hartz en deux régions parfaitement distinctes. Les géologues allemands donnent à cette bande le nom d'axe de la Grauwacke. On peut la suivre sur la carte depuis Herzberg jusqu'à Magdesprung et Gernrode. De Saint-Andreasberg ou de Braunlage, cette bande apparaît, au sud, sous la forme de montagnes arrondies, peu élevées, d'aspect relativement uniforme, et couvertes de forêts de la base au sommet. Il est probable que cette zone était déjà émergée lorsque commença le dépôt des termes suivants.

Cette grauwacke ne renferme, en fait de restes organiques, que des débris indiscernables de végétaux lycopodiacés; aussi, jusqu'à présent, a-t-il été impossible de lui assigner un niveau précis dans l'échelle des formations siluriennes.

L'aspect de la roche est très variable. A certains endroits elle est schisteuse, et forme des plaquettes (*Plattenschiefer*) noires ou grises; ailleurs elle est très chargée de feldspath et possède un aspect cristallin remarquable; à Tanne même, elle est rougeâtre et ressemble à un véritable tuf de porphyre; dans l'Oderthal, c'est un conglomérat à fragments anguleux et assez gros; à Rübestort, près d'Allrode, elle est formée d'un sable jaune; enfin, à Ochsenbach, près de Voigtsfeld, la roche passe à un véritable calcaire impur et schistoïde.

Les autres couches siluriennes se sont déposées dans trois bassins situés, l'un au nord, les deux autres au sud de la Grauwacke. Le premier est rempli, d'ailleurs, par la formation dévonienne d'Elbingerode.

2° *Schistes de Wieda* (zones F G de Barrande). — Les schistes de Wieda (*Wiederschiefer*) constituent le terme le plus important de la formation silurienne du Hartz, par leur grand développement, et, surtout, par les nombreux fossiles qu'ils renferment. Les localités les plus classiques, au point de vue paléontologique, sont Klosterholz, près Ilsenburg, Scheerenstieg, près Magdesprung, Ioachimstal, près Zorge et Hasselfeld.

Les principaux représentants de cette faune silurienne sont :

Parmi les Trilobites, de très nombreux représentants des genres *Dalmanites*, *Phacops*, *Cryphœus*, *Proetus*, *Cyphaspis*, *Acidaspis*, *Cheirurus*, *Bronteus;*

Parmi les Gastropodes, des *Capulus* (*C. priscus Goldf*);

Parmi les Céphalopodes, des nautilides des genres *Cyrtoceras*, *Cyroceras*, *Orthoceras* (*O. triangulare*, Vern ; *O. dulce*, Barr.); et des *Goniatites* (*G. tabuloïdes*, Barr. ; *G. neglectus*, Barr.);

Parmi les Brachiopodes, quatre espèces nouvelles d'un genre voisin du genre *Spirifer*, l'*Athyris undata*, l'*Atrypa reticularis*, quatre Rhynchonellides nouvelles ; quelques pentamères, entre autres le *P. galeatus* du Wenlock ; quelques *orthis* et strophomènes ;

Parmi les Acéphales des Cardioles, et, principalement, la *C. interrupta.*

Je cite enfin, pour mémoire, quelques échantillons de *Tentaculites*, de *Chonetes* et de *Pleurodictyum.*

Depuis longtemps, Rœmer avait trouvé dans les schistes de Wieda, de remarquables empreintes de Graptolites, entre autres le *Monograptus colonus* et le *M. priodon.*

Ainsi les schistes de Wieda appartiennent aux zones F et G de Barrande. On y a observé des empreintes de *Ctenacanthus*, tout à fait caractéristiques de la zone G.

Au point de vue pétrographique, les schistes de Wieda présentent un faciès argileux assez uniforme. Leur couleur varie du noir au gris foncé. Ils renferment de très nombreux amas de calcaire, et des intercalations fréquentes de quartzite blanc ; les calcaires doivent certainement être considérés comme un produit de concentration du carbonate de chaux au sein de la masse argileuse ; ils renferment beaucoup de fossiles.

3° *Schistes siliceux*. — Les schistes siliceux siluriens, que l'on désigne sous le nom d'*Hauptkieselschiefer*, pour les distinguer des schistes siliceux du culm, reposent sur la grauwacke et sur les schistes de Wieda, dans deux bassins assez étendus, au sud du Hartz. Au nord de la grauwacke, ils ne forment plus que quelques lambeaux épars sur les bords du bassin d'Elbingerode. Ce sont des roches noires, très dures, à cassure généralement polyédrique, remplies d'aiguilles de quartz suivant toutes les directions. Ils contiennent d'assez nombreuses intercalations de schistes argileux analogues aux schistes de Wieda et renfermant eux-mêmes des lentilles de calcaire impur. On n'y a jamais trouvé de fossiles.

L'origine de ces schistes est assez mystérieuse ; elle paraît pourtant devoir être attribuée à l'action d'eaux thermales très chargées de silice sur des vases argileuses ; ce phénomène serait à rapprocher de la formation des arkoses à la fin de la période silurienne, c'est-à-dire vers la même époque.

4° *Schistes de Zorge*. — Ces schistes siliceux sont recouverts en partie par les schistes de Zorge ou schistes argileux supérieurs. Ces schistes ne renferment ni calcaire, ni intercalation de quartzite, mais on y observe des lits assez fréquents d'une grauwacke très feldspa-

thique, à gros fragments de schistes. Les seuls restes organiques qu'on y ait découverts sont des débris de plantes indéterminables.

Quartzite du Bruchberg. — Une question actuellement pendante est celle de l'âge de l'énorme massif du Bruchberg. Ce massif qui forme une très haute arête de séparation entre le plateau de culm du Hartz supérieur, et le plateau silurien de Braunlage, est constitué en entier par un quartzite très blanc, à grains fins, sans fossiles. M. Lossen y voit l'équivalent sableux des schistes de Wieda ; d'autres auteurs ont regardé ce quartzite comme contemporain du grès dévonien à spirifers. La solution de ce problème se fera peut-être attendre longtemps encore.

2° Dévonien (*).

Le terrain dévonien s'est déposé principalement au nord de l'axe de la grauwacke, dans le bassin d'Elbingerode ; et au nord du plateau de Clausthal, dans le bassin de Goslar. On le retrouve en quelques points du Hartz supérieur, perçant à travers les couches du culm : par exemple à l'Iberg, et tout le long de l'axe des diabases, entre Osterode et Harzburg. Au sud de la grauwacke de Tanne, le dévonien ne s'est déposé que dans le grand golfe d'Ilfeld, et encore ce dépôt a-t-il été presque immédiatement interrompu.

Le Dévonien du Hartz comprend les termes suivants :

1° Grauwacke d'Elbingerode ;
2° Quartzite et grès à spirifers du Kahleberg ;

(*) Von Groddeck (*loc. cit.*).

3° Schistes à calcéoles ;
4° Calcaire à stringocéphales ;
5° Schistes de Goslar ;
6° Calcaire de l'Iberg ;
7° Calcaire à goniatites, *Kramenzelkalk*, schistes à cypridines.

1° *Grauwacke d'Elbingerode.* — La grauwacke d'Elbingerode, que certains auteurs attribuent encore au silurien, au niveau du quartzite du Bruchberg, ne renferme que des débris de végétaux indiscernables et quelques tiges d'encrines. C'est une roche très dure, d'un gris verdâtre, à grain très fin, contenant parfois des fragments de schistes argileux, ou, plus rarement, de schistes siliceux. Elle contient beaucoup de feldspath, ce qui la rend assez altérable à l'air. Cette roche forme le fond des bassins d'Elbingerode et d'Ilfeld ; elle n'apparaît point dans le bassin de Goslar, où le grès à spirifers forme le premier terme de la série.

2° *Grès à spirifers.* — Ce grès constitue l'énorme massif de montagnes compris entre Bockswiese, Goslar, Oker et Ober-Schulenberg. On ne connaît pas la roche sur laquelle il repose, et l'on ne sait pas si le silurien existe en profondeur dans tout le Hartz occidental.

Les couches de grès présentent une grande complication apparente, et forment beaucoup de bassins et de selles. En gros, la direction des couches est de trois à cinq heures, leur pendage est presque toujours sud. Le grès est le plus souvent gris bleuâtre, à grains assez gros reliés par un ciment argilo-calcaire contenant un peu de mica blanc. Parfois il alterne avec des bancs absolument compacts où toute trace de stratification a disparu ; on y rencontre inversement des lits de schistes sableux, surtout près des schistes à calcéoles du toit.

Il est assez remarquable de constater la très grande richesse en mica blanc de ce grès, alors que le mica blanc, comme nous le verrons plus loin, est exceptionnel dans tout le Hartz.

Dans les fentes du grès on observe généralement des cristaux de quartz, et des agrégats plus ou moins volumineux de pyrite cristallisée ; quelquefois aussi, ces fentes renferment de l'hématite brune et de la pyrolusite.

Les fossiles sont assez nombreux dans le grès du Kahleberg ; ils s'y trouvent, avec leur enveloppe calcaire, dans un parfait état de conservation. Les principaux de ces fossiles sont :

Spirifer macropterus et *Sp. curvatus ; Homalonotus punctatus* et *H. gigas ; Pterinea declivis ; Cardinia vetusta ; Chonetes sarcinulata*, *Ctenocrinus decadactylus*, *Cyathocrinus pinnatus*.

Ces fossiles permettent d'identifier ce grès avec l'assise de Linton en Devonshire, avec la grauwacke coblencienne et les couches ahriennes de l'Eifel, avec le grès à spirifers de la Westphalie et du Nassau, et enfin avec les quartzites à homalonotus du Taunus.

3° *Schistes à Calcéoles.* — Ces couches dont la direction est de trois à cinq heures et le pendage sud, entourent le grès à spirifers de tous les côtés. La zone limite est assez indécise ; on observe sur une certaine hauteur une véritable alternance de schistes et de grès, ce qui prouve que les conditions de sédimentation ont souvent varié à l'époque de passage et n'ont point changé subitement. Abstraction faite de ces alternances, les schistes à calcéoles sont superposés au grès sur tout le bord oriental de la formation gréseuse, entre Ober-Schulenberg et Oker, et, au contraire, placés au-dessous des grès dans toute la zone comprise entre Goslar et Bocks-

wiese. Il y a donc renversement des couches d'un côté ou de l'autre.

Les caractères paléontologiques permettent de trancher la difficulté, et prouvent la postériorité des schistes à calcéoles. Toutes les assises que j'ai énumérées plus haut comme contemporaines du grès à spirifers sont, en effet, antérieures à des couches à calcéoles (Pl. XI, *fig.* 1).

Il faut donc admettre que le massif de grès forme une grande selle à demi-recouverte par les schistes. L'axe de ce long plissement est dirigé heure quatre environ, c'est-à-dire dans la direction générale des plissements du Hartz supérieur. Je signale ce fait en passant ; on verra plus loin qu'il n'est pas sans importance pour l'étude de la genèse du Hartz.

Les couches à calcéoles sont des argiles à fausse schistosité très développée, d'une couleur gris bleuâtre. Elles alternent souvent avec des lits ou des lentilles de calcaires soit compacts, soit schisteux. Ces calcaires contiennent beaucoup de fossiles ; ils sont à rapprocher des calcaires de Trélon et de Couvin subordonnés aux schistes à calcéoles de la région de Givet.

Les principaux fossiles que l'on rencontre, soit dans les schistes, soit dans les calcaires sont :

Calceola sandalina, *Phacops latifrons*, *Spirifer speciosus*, les trois fossiles absolument caractéristiques de l'étage à calcéoles de l'Ardenne, et les polypiers *Cyathophyllum vermiculare*, *Favosites Goldfussi*, *Cupressocrinites urogalli*, *Fenestella explanata*. Ainsi se prépare l'immense développement que vont prendre les polypiers dans la période suivante.

Pas plus que le grès à spirifers les schistes à calcéoles ne sont représentés dans le bassin dévonien d'Elbingerode, où le calcaire à stringocéphales repose directement sur la grauwacke ou même sur les schistes siluriens de Zorge.

4° *Calcaire à stringocéphales.* — Ce terme, qui fait complètement défaut dans le bassin de Goslar, prend, au contraire, une part prépondérante dans la formation du terrain dévonien d'Elbingerode. C'est un calcaire d'un blanc plus ou moins grisâtre, assez spathique, qui ne présente généralement aucune trace de stratification. Les fossiles quoique nombreux, y sont généralement assez peu discernables, et c'est surtout sur les parois exposées aux agents atmosphériques que la décomposition les fait apparaître. On aperçoit alors la section elliptique du *Stringocephalus Burtini*, et surtout une quantité prodigieuse de polypiers, ce qui prouve l'origine corallienne de ces marbres. Il y a là un rapprochement à établir entre ce fait et l'existence, récemment démontrée par M. Dupont, de très nombreux polypiers dans le calcaire de Givet.

La question des gîtes de fer, siliceux ou calcaires, et des épanchements de diabases ou schallsteins est intimement liée à l'étude de ces calcaires ; mais je renvoie, pour cette étude, au chapitre second, sur les diabases du Hartz.

5° *Schistes de Goslar.* — Cette formation schisteuse repose directement et en concordance absolue sur les schistes à calcéoles, dans toute la région située à l'est du Kahleberg, entre Ober-Schulenberg et Oker. A l'ouest de ce massif, au contraire, par suite du renversement dont j'ai parlé tout à l'heure, ils apparaissent sous les couches à calcéoles, et forment ensuite entre Goslar, Langelsheim, le Wittenberg et la Hohekell, un très grand nombre de bassins et de selles. Ce renversement avait déterminé Rœmer à placer ces schistes au niveau des schistes de Wissenbach de la région du Rhin, c'est-à-dire au-dessous de l'étage à calcéoles. On verra tout à l'heure que la découverte de toute une faune riche en

Goniatites assigne, au contraire, à ces couches, un niveau très supérieur dans le Famennien.

Les schistes de Goslar ont une couleur variable du bleu noirâtre au gris clair; la schistosité, toujours oblique à la stratifi ation, est parfois très prononcée et permet l'exploitation de la roche pour ardoises. A l'air, ces schistes s'altèrent assez rapidement et deviennent jaunes.

La direction générale est comprise entre quatre et six heures; le pendage, toujours au sud, varie de 25° à 40°; la schistosité, également sud, va jusqu'à 75°. La stratification est nettement marquée par des intercalations d'une grauwacke brune à grain très fin, et d'un calcaire cristallin noir. L'épaisseur de ces intercalations varie entre 50 centimètres et 1 mètre. Souvent on trouve, au voisinage des amas de grauwacke, des fragments de cette même grauwacke, dispersés dans les schistes.

La pyrite est très abondante, principalement dans les fissures remplies de cristaux de quartz et de calcite. Les fossiles des schistes sont toujours pyritisés ou transformés en hématite brune; ceux des calcaires n'ont subi aucune altération.

Les plus intéressants représentants de cette faune, sont, d'après M. Kayser :

Tentaculites conicus et *T. annulatus; Orthoceras multiseptatum* et *Bactrites carinatus; Goniatites lateseptatus; G. bicanaliculatus; G. retrorsus; G. Jugleri; Phacops* cf. *latifrons* et *Acidaspis horrida.*

Ainsi, malgré certaines analogies de facies d'allure et de faune avec les schistes de Wissenbach, il est bien établi, sur la foi du *Goniatites retrorsus* et conformément aux rapports stratigraphiques, que les schistes de Goslar sont véritablement famenniens, contemporains des schistes verts de Büdesheim, dans l'Eifel, et supérieurs, par conséquent, aux couches à Rhynchonella cuboïdes qui n'apparaissent point dans la région de Goslar.

6° *Calcaire de l'Iberg.* — Ces couches à *Rhynchonella cuboïdes*, représentées dans l'Ardenne par les calcaires de Frasne, de Rance et de Fromelennes, forment, dans le Hartz, le calcaire de l'Iberg. Ce calcaire, qui fait complètement défaut dans la région de Goslar, apparaît comme un îlot au bord du plateau de culm du Hartz supérieur, constituant la double montagne de l'Iberg et du Winterberg. C'est une masse énorme de calcaire blanc compact, ne présentant aucune trace de stratification et renfermant seulement un ou deux niveaux de fossiles qui ont permis de lui assigner un âge. Ces fossiles sont : *Rhynchonella pugnus*, *Rhynchonella cuboïdes*, *Atrypa reticularis*, *Cardium palmatum*, etc. Un grand nombre de polypiers se rencontrent en certains points du massif, ce qui a donné lieu à l'hypothèse d'une formation coralliennne.

Dans le bassin d'Elbingerode, ce calcaire est superposé soit aux schalsteins ou diabases schisteuses, soit aux minerais de fer jaspeux que j'étudierai au chapitre II. À l'Iberg même, il repose sur un minerai de fer assez analogue au minerai jaspeux, mais qui renferme en plus du sulfate de baryte. On ignore du reste quelle est la roche qui forme le mur de ce minerai. Quant au sulfate de baryte, nous verrons que sa présence doit être attribuée au voisinage du grand filon barytique de Hülfe-Gottes.

7° *Calcaire à Clyménies et Schistes à Cypridines.* — Ces deux termes, représentants à facies différent d'un même âge géologique, entourent à l'est, au sud et à l'ouest la formation dévonienne du Goslar. Ils ne disparaissent, au sud, que sur une longueur de 3 kilomètres entre le Fustenberg et le puits Richt du Pisthal. On les retrouve en profondeur dans les puits de Bockswiese. À l'est, entre Oker et Ober-Schulenberg, ils forment une bande étroite, allongée, ou plutôt deux bandes paral-

lèles. A l'ouest, ils couvrent une grande étendue et leurs couches deviennent presque horizontales.

Ces roches sont claires ; les calcaires ont une couleur bleu grisâtre, les schistes, une couleur jaune ou rouge. Les calcaires sont très compacts ; des bandes argileuses les traversent suivant toutes les directions. On y trouve *Arca Clymeniæ*, *Tentaculites acicularis*, *Phacops lævis*, *Clymenia striata*.

Les schistes dits à Kramenzels, contiennent, parallèlement à la stratification, des lits de noyaux calcaires. Souvent ces noyaux ont été dissous par les eaux, et il en résulte une roche criblée de trous, d'aspect scoriacé. Enfin ces schistes à Kramenzels passent eux-mêmes à des schistes jaunes sableux, où l'on trouve en abondance la *Cypridina serratostriata*. On y rencontre aussi des *Posidonies*, et un *Phacops*.

Près d'Altenau, une couche de calcaire noir renferme en très grande quantité *Cardium palmatum*, *Cardium anguliferum*, *Goniatites retrorsus*, *Cypridina nitida*.

Dans le bassin d'Elbingerode, cette formation n'est représentée que par quelques lambeaux de schistes à cypridines, reposant directement sur la grauwacke d'Elbingerode.

3° Carbonifère.

Le sous-étage carbonifère est représenté dans le Hartz par une formation littorale à facies généralement gréseux, c'est-à-dire par le Culm. Cette formation comprend deux termes principaux, probablement contemporains :

Les Schistes à posidonies et la Grauwacke de Clausthal.

Schistes à posidonies. — Les schistes à posidonies (*Posidonomyenschiefer*) sont des couches argileuses ou

argilo-sableuses dont la direction est heure 3-5. On n'y a découvert jusqu'ici que la *Posidonia Becheri*. Ces schistes occupent différents points de l'énorme massif de culm du Hartz supérieur ; on les retrouve jusque dans l'Hutthal au delà de la zone des diabases, et, sur la route de Clausthal à Saint-Andreasberg, on peut les suivre jusqu'au bord du quartzite du Bruchberg.

Grauwacke du Culm. — La grauwacke de Clausthal est une roche dure à grain très fin, d'un gris légèrement verdâtre dans la cassure fraîche, mais s'altérant rapidement à l'air par suite de sa richesse en feldspath et prenant alors une teinte jaune sale caractéristique. Sous le marteau, cette roche éclate en fragments polyédriques de petites dimensions, ce qui la rend impropre à toute espèce d'usage.

La direction générale de la grauwacke est heure 4 ou heure 5. Elle est donc parallèle aux grands plissements du Hartz supérieur et en particulier à l'axe des diabases. Le pendage, tantôt nord, tantôt sud, varie entre 25° et 35° ; ce qui prouve l'existence d'une série de bassins s'étendant depuis le Bruchberg jusqu'au bord occidental du plateau.

On a observé en plusieurs points, au sein de la grauwacke, des lits de galets de roches cristallines, granite et porphyre quartzifères. Ces dépôts sont particulièrement nombreux au nord-ouest du Hartz, entre Badenhausen et Lautenthal. Ces galets de roches cristallines reposent toujours sur des galets de quartzite ou de quartz laiteux, avec lesquels ils ne sont jamais mélangés. Le granite est semblable à certaines variétés du Brocken, le porphyre paraît identique avec les porphyres quartzifères des *Grosse Knollen*, dont je parlerai au chapitre III. Tous ces faits ont leur importance dans l'étude, que nous ferons postérieurement, de la formation du Hartz.

en stratification légèrement discordante (la différence va à 10°) par des argiles schisteuses d'un rouge clair, ou d'un gris verdâtre, qui, à Ilfeld, forment le mur de la nappe de mélaphyre (Voir le chapitre III). Ces argiles forment, quoi qu'il en soit, au moins le terme inférieur du Rothliegende.

5° Permien.

La formation permienne entoure le Hartz à l'ouest, au sud, à l'est et au nord-est. Elle comprend deux termes : le Rothliegende qui s'est déposé dans des golfes assez profonds et pénétrant très avant dans l'intérieur du massif; et le Zechstein qui s'est formé beaucoup en arrière et constitue une sorte de rempart de collines basses, aux rochers d'un blanc de neige, absolument dépourvues de végétation.

1° *Rothliegende.* — Depuis longtemps, le rothliegende des environs du Hartz a été subdivisé en trois niveaux dont les séparations sont plus ou moins nettes. Dans la région classique d'Ilfeld, ces séparations sont faites par les épanchements de mélaphyre et de porphyrite (Voir plus loin).

Le Rothliegende inférieur est caractérisé par l'absence complète de lits calcaires; il ne renferme, à Ilfeld comme à Meisdorf que des argiles schisteuses rouges, et des conglomérats, à ciment argileux renfermant des fragments imparfaitement arrondis de roches siluriennes. Ce terme dont la puissance, à Ilfeld, ne dépasse pas 20 mètres, est recouvert par la nappe de mélaphyre.

Le Rothliegende moyen renferme, comme dans la région du Mansfeld, des lits d'un calcaire gris bleuâtre, très compact, dépourvu de fossiles. Mais, tandis qu'au Mansfeld ces calcaires bleus alternent avec des schistes

et des conglomérats, ces derniers manquent absolument à Ilfeld et sont remplacés par des grès d'un rouge vif avec intercalations d'argiles. En certains points, ces grès renferment des empreintes d'un Lycopode.

Le Rothliegende supérieur est caractérisé par des conglomérats à galets de porphyrite et de mélaphyre. On le subdivise, dans la région d'Ilfeld, en six niveaux différents, qui sont, de la base au sommet :

1° Tuf porphyrique et conglomérat ;
2° Grès bariolé ;
3° Tuf porphyrique compact ;
4° Tuf porphyrique cristallin ;
5° Conglomérat porphyrique ;
6° Sables de Walkenried.

2° *Zechstein.* — Le Zechstein est également subdivisé en trois sous-étages d'inégale importance, mais également constants dans toute l'étendue de la formation ; ce sont :

Le Weissliegende, les Schistes cuivreux et le *Zechstein proprement* dit.

Dans le Mansfeld, cette formation repose sur le Rothliegende en stratification concordante ; à Ilfeld, il y a une légère discordance, due à un soulèvement local. Entre Hermannsacke et Leinungen, le Zechstein repose directement sur les roches siluriennes.

Le *Weissliegende* est un conglomérat gris blanchâtre, à ciment calcaire, et galets de grauwacke, de schistes, de quartz, mais jamais de porphyre. Sa puissance est de 1 mètre à 1^{m},50.

Les schistes cuivreux qui sont, dans le Mansfeld, l'objet d'une si ancienne exploitation, se rencontrent partout dans le Zechstein du Hartz, mais leur teneur en cuivre est trop faible pour qu'ils soient exploitables. Leur puissance, presque constante, est de 60 centimètres.

Le Zechstein est constitué à la base par une couche de calcaire renfermant fréquemment un peu de cuivre ; c'est le Dachklotz des mineurs du Mansfeld. Puis viennent des masses énormes d'anhydrite et de gypse qui forment, comme je l'ai dit plus haut, une double chaîne de collines blanches, parallèles au bord sud du Hartz. L'intérieur des collines est toujours formé d'anhydrite ; à l'extérieur seulement, et sur une épaisseur variable se trouve le gypse. La stratification n'est pas visible, sauf à Osterode. La puissance va à 40 mètres.

Ces amas de gypse et d'anhydrite sont toujours recouverts par des dolomies ou des schistes calcaires bitumineux (*Stinkschiefer*). Les dolomies, comme les schistes, sont brisées par l'augmentation de volume de l'anhydrite, et partout, au sommet des collines s'ouvrent des cavités profondes, des trous du diable, comme on les appelle dans le pays.

Les dolomies, nommées *Rauhwacke* à cause de leur âpreté au toucher, sont généralement caverneuses et fendillées dans tous les sens. On dirait, par endroits, d'un amoncellement de scories. Parfois aussi, elles sont entièrement pulvérisées, et changées, par les eaux, en une sorte de cendre blanche (*Asche*).

Dans ces dolomies caverneuses, et surtout dans les schistes bitumineux qui les remplacent au nord de Nordhausen, on a trouvé des fossiles et spécialement :

Terebratula elongata et *Productus horridus*, *Mytilus Hausmanni*, *Avicula speluncaria* et *Gervillia ceratophaga*.

Le Zechstein se termine par une alternance de plaquettes d'argile bleuâtre et de lits épais d'un calcaire jaunâtre rempli de concrétions dolomitiques.

Je ne parlerai ni du trias, ni des terrains secondaires qui forment au nord du Hartz, entre Langelsheim et

Wernigerode, cette bande mince que j'ai mentionnée. Le temps m'a manqué pour examiner à loisir cette bande qui ne présente d'ailleurs aucun intérêt particulier. Les couches, dont la direction est à peu près N.-O.-S.-E, ont un pendage qui varie de 75° sud à 75° nord, en passant par 90°; généralement appuyées contre les formations paléozoïques, elles en sont quelquefois séparées par une vallée d'érosion parallèle à la direction de ces couches. C'est ce qui arrive à Langelsheim, où l'Innerste, descendue du haut plateau de Clausthal, a enlevé tous les termes jusqu'au gault exclusivement, en sorte que la craie glauconieuse forme, en cet endroit, une chaîne escarpée en avant des montagnes.

La composition de ces couches secondaires est la même que celle des assises de même âge dans le Hanovre. Le gault est constitué par un grès cubique (*Quadersandstein*) au sommet duquel s'étend un lit de marnes de 1 mètre de puissance, qui renferme beaucoup de dents de squale. Au-dessus vient la craie glauconieuse, ou plutôt une craie blanche de l'âge de la craie glauconieuse, mais ne contenant pas de glauconie. J'y ai trouvé le *Turrilites costatus*, les *Ammonites Mantelli* et *varians*, et de nombreuses empreintes d'une variété d'inocérame. La puissance de cette craie est de 50 mètres environ.

Quant à la craie supérieure (craie marneuse, noduleuse et blanche), elle n'a point été soulevée, ce qui permet de fixer un âge précis aux derniers mouvements du Hartz. Cette craie apparaît à Grauhof, au commencement de la grande plaine du Brunswick, mais bientôt elle disparaît sous les alluvions tertiaires.

On a trouvé, il y a trois ans, sur des plaques de grès appartenant à la formation du grès infraliasique, au nord d'Harzburg, des stries d'origine évidemment glaciaire. Deux de ces plaques ont été transportées à l'Académie des mines de Berlin, où j'ai pu les voir. Les stries appar-

tiennent à deux systèmes, faisant entre eux un angle de 60° environ, et dirigés l'un est, l'autre ouest. Le système Est est antérieur à l'autre, car une partie des stries qui lui correspondent ont disparu par l'usure ultérieure de la pierre.

Les géologues allemands attribuent la formation de ces stries aux glaciers scandinaves, dont les galets apparaissent en plusieurs points du Brunswick. Tout semble prouver, en effet, que le Hartz n'a pas eu de glaciers, ou du moins ces glaciers n'ont pas laissé de traces et devaient être, par conséquent, de faible importance.

Je mentionnerai pourtant la découverte faite l'an dernier dans l'Oderthal, au pied du Brocken, par M. E. Kayser, de schistes présentant l'apparence de stries glaciaires. La question n'est point encore éclaircie.

CHAPITRE II

DES DIABASES

Pendant de longues années, toutes les diabases du Hartz ont été désignées sous la dénomination générale de Grünstein, qui comprenait, en outre, les roches vertes à olivine et diallage que nous étudierons sous le nom plus moderne de gabbros. On se contentait de les distinguer, suivant leur facies, en roches grenues, roches compactes, et schallsteins ou roches schisteuses, et comme la plupart de ces diabases se rencontrent dans les assises siluriennes, on attribuait à toutes les grünsteins, sans exception, une origine silurienne commune, sans se prononcer toutefois sur la nature de cette origine.

Il n'y a pas plus de vingt ans que le jour a commencé à se faire sur cette difficile question. Les travaux de

Streng, ceux de M. Kayser pour les diabases du terrain silurien, ceux de M. Lossen pour les diabases du bassin dévonien d'Elbingerode, ont amené à cette conclusion définitive : il y a au Hartz, trois catégories de diabases d'âge absolument différent, à savoir :

Diabases siluriennes ;
Diabases dévoniennes ;
Diabases du Culm.

Aucune relation n'existe entre ces trois catégories, que celle qui résulte d'une composition chimique analogue, et de la présence, dans toutes les trois, du pyroxène. Les conditions de gisement, d'apparition au jour, de métamorphisme sont profondément différentes. J'aborderai donc successivement ces trois classes de roches, traitant, pour chacune d'elles, de la nature de la roche, du métamorphisme qu'elle a exercé, et de l'hypothèse la plus probable au sujet de sa formation.

Diabases siluriennes.

Les diabases siluriennes, figurées en vert foncé sur la carte de M. Lossen, et représentées par la lettre D, apparaissent à peu près partout dans la formation silurienne du Hartz.

C'est par milliers qu'il faut compter les amas de toutes dimensions que l'on rencontre au voisinage de l'axe des grauwackes.

D'une manière générale, on peut dire qu'au point de vue du gisement, ces roches *affectent toujours la dispositions de nappes interstratifiées dans les schistes de Wieda*, parallèlement à la stratification. Je n'ai entendu parler que de deux exemples d'exception à cette règle, c'est-à-dire de dykes véritables de diabase coupant les schistes et ne formant à leur surface aucun épanchement;

je reviendrai du reste sur ces deux exceptions. Les conditions de métamorphisme sur les schistes environnants, conditions que j'examinerai tout à l'heure, nous montreront qu'il y a eu, non pas intrusion à travers des couches de schistes déjà formées, mais épanchement de la diabase à l'état de dissolution hydro-thermale au fond même de la mer silurienne. Cette diabase est donc bien une diabase silurienne, contemporaine des schistes de Wieda.

Ainsi il faut nous représenter le fond de la mer silurienne pendant le dépôt des argiles, comme perforé d'une innombrable quantité de cheminées aujourd'hui inconnues, par lesquelles arrivaient les diabases. Ce sont des conditions absolument analogues à celles qui ont présidé à la formation des amas de pyrite dans certaines régions paléozoïques, et à la formation des arkoses de Fepin. Cette formation a été tranquille, car nulle part les schistes ne paraissent avoir été dérangés au contact de la diabase, et dans les filons dont je parlais tout à l'heure et qui ne sont, sans doute, que des cheminées amenées au jour par les soulèvements postérieurs, la cassure des schistes est d'une netteté absolue.

Il faut donc renoncer complètement aux idées si longtemps en honneur, qui attribuaient à l'éruption des diabases un rôle prépondérant dans le soulèvement du Hartz et dans la formation des fissures. Le voisinage immédiat du champ de fractures de Saint-Andreasberg et du premier des grands amas de diabase du sud, doit être considéré comme purement fortuit. Je reviendrai du reste sur cette question locale, en traitant du rôle général du granite.

On a pendant longtemps divisé les diabases siluriennes en deux catégories : diabases compactes et diabases grenues. Je crois que cette division est inutile ; j'ai eu l'occasion d'observer tous les passages entre les diabases effectivement très compactes et presque aphanitiques du sud du Hartz, et les roches très cristallines et à très

grandes parties des schistes de Wernigerode. Toutes possèdent la même composition chimique, et une composition minéralogique analogue. Pourtant il est utile de noter que les roches compactes apparaissent généralement dans les niveaux supérieurs des schistes de Wieda, et même dans les Hauptkieselschiefer. Quant au métamorphisme, il semble ne pas dépendre de l'état de compacité de la roche.

Je prendrai comme type la diabase de Saint-Andreasberg, qui forme un peu au sud de cette ville, un amas de plusieurs kilomètres de longueur. La roche est exploitée dans le vallon du Waschgrund qui descend vers l'usine à argent.

C'est une roche très dure, très cristalline, du type finement grenu (*feinkörniger Diabas*). A l'œil nu on n'aperçoit que deux éléments, l'un vert d'eau à cristallisation très confuse formant au moins les 4/5 de la masse, l'autre noir en cristaux brillants beaucoup plus nets, ayant de 1 à 3 millimètres de longueur en moyenne, et formant de petits groupements au milieu de l'élément vert. A la loupe on reconnaît aisément que la plus grande partie des cristaux noirs sont des prismes rectangles de pyroxène ; mais un certain nombre présentent les clivages de la hornblende. Quant au feldspath, bien qu'on y observe des parties plus claires que les autres, il ne présente pas de caractères tranchés ; les faces de clivage sont rares, et il est impossible de voir si on a sous les yeux de l'oligoclase et du labrador, ou seulement l'un des deux.

Les cristaux de feldspath sont d'ailleurs tachetés de petits points noirs qui correspondent sans doute à de petites aiguilles de pyroxène. Enfin des mouches de pyrite en très grande quantité sont disséminées à travers la masse ; cette pyrite est parfois blanche et paraît être alors du mispickel.

La cassure de la roche est irrégulière, rarement con-

choïde. La surface libre des amas est généralement profondément altérée par les agents atmosphériques ; cette altération s'étend jusqu'à 30 ou 40 centimètres. Le pyroxène y parait transformé partiellement en chlorite ; la roche est devenue beaucoup plus tendre et sa couleur a passé au jaune verdâtre.

L'analyse chimique de cette roche, par M. Kayser, a donné les résultats suivants :

Silice	47,36
Acide titanique	0 50
Alumine	16,59
Sesquioxyde de fer	1.53
Protoxyde de fer	7,93
Protoxyde de manganèse	0,44
Chaux	10,08
Magnésie	6,53
Soude	2,85
Potasse	0,84
Eau	3,05
Pyrite	1,96

Dans les fentes de la roche on observe très généralement des cristaux de calcite, et, exceptionnellement dans la carrière du Waschgrund, des cristaux de datolite. Dans l'échantillon que j'ai rapporté, la datolite ne paraît pas cristallisée, mais forme à la surface de la roche un enduit blanc bleuâtre, semblable d'aspect à de la porcelaine, et recouvert lui-même par une matière stéatiteuse.

Cette datolite vient-elle de la roche par une simple exsudation, où est-elle au contraire étrangère à la roche? La question ne peut être tranchée que par le concours du microscope.

Métamorphisme exercé par la diabase. — Je passe maintenant à l'étude du métamorphisme exercé par la

diabase sur les schistes environnants. Sur une épaisseur variable mais rarement nulle, ces derniers sont altérés au contact de la roche éruptive, de sorte que les schistes proprement dits sont séparés de la diabase par une zone de roches de contact Ces roches ne peuvent s'observer à Saint-Andreasberg; sur les flancs du Waschgrund, la zone de séparation est recouverte par une grande épaisseur de terrain remanié. Mais sur la route de Saint-Andreasberg à Braunlage, un peu après l'Oderhaus, on traverse ou plutôt on longe un grand massif de diabase, et les roches de contact apparaissent dans les escarpements qui bordent le chemin.

La distribution de ces roches de contact est absolument irrégulière ; parfois elles manquent absolument sur plusieurs mètres de longueur et reparaissent tout à coup; parfois aussi elles se montrent, non pas au voisinage immédiat de la roche éruptive, mais à une certaine distance, et séparées de cette roche par des schistes non modifiés. Comme la diabase est toujours interstratifiée, le métamorphisme s'est exercé perpendiculairement à la stratification, c'est-à-dire que les roches de contact forment des zones parallèles aux assises : il n'y a que deux exceptions, relatives aux deux filons ou cheminées de diabase dont j'ai déjà parlé (Kahleberg, près d'Hasselfeld).

Un fait de la plus haute importance, c'est que les roches de contact se trouvent tantôt seulement au toit, tantôt seulement au mur, tantôt au toit et au mur à la fois.

Quant à l'épaisseur de la zone de contact, elle est absolument variable, et ne dépend nullement de la puissance de l'amas de diabase : ce sont souvent les plus faibles amas qui ont exercé leur action sur le plus grand rayon.

Voici maintenant comment se présente en général cette zone de contact. A mesure que l'on approche de la diabase, la dureté des schistes augmente et leur schistosité très prononcée fait place à une fissilité par plaquette ou

à une cassure parallélipipédique. A la limite de la zone, les schistes qui ont conservé leur dureté primitive, présentent un plissement léger, semblable à un ridement d'eau agitée, et leurs surfaces de séparation ont un éclat soyeux caractéristique. Ce phénomène s'observe parfois à une très grande distance de la roche. Parfois aussi on observe au commencement de la zone, des schistes blanchis que le moindre choc fait éclater en une foule de petites plaquettes très minces, et, dans ces schistes, de nombreux anneaux, tantôt plus clairs, tantôt plus sombres que le reste de la masse. Ces apparences annoncent inversement, d'une manière certaine, le voisinage d'une masse de diabase (M. Kayser).

Quant à l'apparence physique des roches de contact proprement dites, elle diffère un peu, suivant que l'amas de diabase est au nord ou au sud de l'axe des grauwackes. Pourtant dans les deux cas ni la diabase, ni les schistes ne sont différents ; il faut donc admettre ici l'intervention de conditions physiques que nous ne connaissons pas. Du reste, on verra par les analyses qui suivent, que ces différences portent uniquement sur l'apparence physique et ne vont pas jusqu'à la constitution chimique.

1° Zone Sud. — Dans toute la zone sud, par exemple à Allrode, les contacts ont 2 à 4 mètres de puissance en moyenne et ne dépassent jamais 7 mètres. Ils entourent donc comme de minces rubans les amas généralement très considérables de diabase. La dureté des schistes augmente très rapidement quand on se rapproche de la diabase ; la cassure devient polyédrique ; enfin la roche devient absolument massive et ne se distingue de certains jaspes, *que par sa grande fusibilité au chalumeau.* Cette roche massive à une couleur gris clair ou gris bleuâtre ; sa cassure est conchoïdale ; les parties décomposées sont d'un jaune sale, les petits fragments long-

temps exposés aux agents atmosphériques ont une apparence moirée particulière à certaines roches très siliceuses, et qui doit provenir de la dissolution et de la recristallisation de la silice. Quelquefois cependant la roche est beaucoup plus sombre, avec des taches noires éparses dans la masse; cette couleur sombre provient de la présence de matières organiques et d'un peu de silicate de fer. Par calcination, la roche devient rouge.

Dans toutes ces roches, on observe à la loupe un très grand nombre d'aiguilles de quartz qui traversent la masse en tout sens. Dans les fentes, on trouve des cristaux de quartz et un peu de pyrite.

Il y a *passage graduel de ces roches aux schistes non modifiés*, et, au contraire, *la transition est toujours bien nette et visible* entre les dernières roches de contact et la diabase.

La coupe suivante, prise à vingt minutes au sud-ouest d'Allrode montre de nombreux lits de diabase, et de roches métamorphiques très dures. Celles-ci sont tantôt au mur, tantôt au toit, tantôt au mur et au toit de la roche éruptive. Les roches de dureté intermédiaire font défaut (Pl. XI, *fig*. 2.)

Voici d'après M. Kayser, deux analyses des roches de contact d'Allrode, et l'analyse comparée des schistes non modifiés :

	Roches de contact.		Schistes non modifiés.
Silice	75,25	73,74	69,27
Alumine	11,80	14,81	13,12
Sesquioxyde de fer	traces	0,02	0,62
Protoxyde de fer	1,76	1,31	5,24
Protoxyde de manganèse	traces	0,11	0,09
Chaux	0,32	0,61	0,12
Magnésie	1,57	1,29	1,36
Soude	7,54	5,47	2,25
Potasse	0,61	1,51	4,31
Eau	0,81	0,70	3,36
Pyrite	0,49	0,84	0,62

J'ai souligné les teneurs en alcalis, car la comparaison de ces teneurs sera le point de départ de la théorie qui nous occupera tout à l'heure.

Un autre exemple très remarquable est celui des carrières de Rabenstein. Je l'emprunte, comme le précédent, au mémoire de M. Kayser (Pl. XI, *fig*. 3).

L'allure des schistes est très compliquée. Ils forment deux selles de dimensions très inégales séparées par un bassin extrêmement escarpé. Deux lits de diabase de 3 à 4 mètres de puissance accompagnent les schistes dont ils sont séparés par des roches de contact admirablement nettes. Voici des analyses, d'après M. Kayser :

	Roches très dures.		Roches moins dures.	
Silice.	73,34	75,02	61,58	59.34
Alumine.	13,61	14,48	13,67	14,23
Sesquioxyde de fer. . . .	0,07	»	1,83	3,11
Protoxyde de fer.	2,23	1,75	7,10	6,73
Chaux.	0,26	0,31	1,07	0.84
Magnésie.	0,98	0 87	4,16	3,81
Soude.	6,37	4.66	4,41	5,53
Potasse.	1,18	2,31	1,99	1,94
Eau.	0 84	0,81	2,88	4,47
Pyrite.	0,63	0,48	0,39	»

Les deux dernières analyses correspondent à des schistes moins durs où la silice s'est isolée sous forme de concrétions plus ou moins volumineuses. C'est à cela qu'il faut attribuer la faible teneur en silice accusée par l'analyse.

2° Zone Nord. — En général dans la zone nord, les roches de contact sont plus puissantes que dans la zone sud. Les diabases sont au contraire en amas irréguliers, généralement de petite dimension, comme si toute la matière s'était répandue au travers des schistes sans pouvoir cristalliser en masse. Entre les différents amas, dont

le nombre est incalculable, les schistes non modifiés sont rares, et s'il y en a, le passage entre eux et la roche dure est extrêmement lent et comme insensible. C'est parfois sur plusieurs kilomètres que s'étendent ces zones de contact dont l'effet au milieu des schistes, ne saurait mieux se comparer qu'à celui d'une tache d'huile sur du papier.

Le métamorphisme s'annonce, comme dans le sud, par un léger ridement des schistes correspondant à un éclat soyeux sur les surfaces de séparation. Puis la roche devient plus dure et prend un des aspect que je vais décrire, d'après M. Kayser :

1° La roche ressemble aux roches de contact du sud, avec une couleur gris cendré particulière, pareille à celle de certains halleflints. La division en plaquettes est très marquée ;

2° La roche est verdâtre et paraît renfermer de la chlorite ; elle est traversée en tout sens par d'innombrables aiguilles de quartz, et renferme beaucoup de concrétions de pyrite et de pyrrhotine ;

3° Les éléments de la roche accusent une grande tendance à l'individualisation. La pâte devient cristalline, et paraît renfermer du mica, du feldspath et de la chlorite ; en même temps des concrétions très nombreuses se forment au sein de cette pâte, constituées par des agrégats de feldspath blanc enveloppés de chlorite. D'après M. Lossen, le mica ferait souvent place à de la séricite ;

4° Le développement plus grand encore de la texture zonée conduit aux roches que Zincken a nommées spilosites et desmosites. Les spilosites sont des roches très schisteuses d'une couleur blanc bleuâtre, qui paraît due à l'élément sériciteux. Les concrétions ou zones sont formées de couches concentriques de chlorite entourant un noyau feldspathique. Le diamètre de ces concrétions est parfois si considérable que l'aspect de la roche rappelle celui de certaines pyromérides. Au microscope, les spi-

losites présentent une pâte amorphe transparente, de la chlorite, du mica, *de nombreux cristaux d'albite* et des feuillets terreux d'un minéral inconnu.

Les desmosites ne sont autre chose que des spilosites ou les concrétions forment des rubans parallèles et non des zones concentriques.

Dans un très remarquable travail sur la spilosite et la desmosite, M. Lossen a fixé les limites précises de ces deux roches dans les terrains du nord du Hartz, et les a nettement distingués des schistes zonés et rubanés (*Fleckschiefer* et *Bandschiefer*), que j'étudierai plus loin et qui sont dus au métamorphisme du granite.

Voici quelques analyses de ces différentes roches, d'après M. Kayser :

	Schiste non modifié.	Roche très dure.	Roche à concrétion.	Spilosite.
Silice.	67,53	76.30	61,55	55 42
Alumine.	10.42	14,68	13.98	18,10
Sesquioxyde de fer.	2,79	»	4,55	5.00
Protoxyde de fer.	4,55	»	4.33	7,00
Chaux.	1,51	0.18	1,70	1,39
Magnésie.	3,30	0,02	3.63	3,16
Soude.	3,37	7,77	5,60	4,18
Potasse.	3.64	0,58	1,04	2,24
Eau.	2,81	0,48	3,47	2,7
Protoxyde de manganèse.	»	»	»	0,5
Acide carbonique.	»	»	»	0,1

Les roches de contact des filons (*cheminées*) de diabase du Kahleberg, près d'Hasselfeld, présentent des compositions tout à fait identiques.

On voit donc qu'ainsi que je l'annonçais les différences entre les roches métamorphiques des deux zones sont seulement des différences de facies. La nature chimique est la même, ce qui devait être, puisque ce sont les mêmes schistes modifiés par la même diabase.

Dans la zone nord comme dans la zone sud, les roches

de contact se divisent par suite, d'après leur constitution chimique, en deux catégories : roches acides et roches basiques, et ces deux catégories peuvent se rencontrer, non seulement dans la même localité, mais au même point à côté l'une de l'autre.

Il y a donc eu *simultanément* et *pour toutes les diabases* siluriennes du Hartz, deux procédés de métamorphisme mis en œuvre côte à côte. Cette conclusion capitale va servir de base à la théorie du métamorphisme.

Les analyses montrent que la composition des schistes non modifiés est intermédiaire entre la composition acide et la composition basique des roches de contact ; toutefois, la proportion totale des alcalis est moindre dans les schistes, et la potasse l'emporte toujours sur la soude, tandis que, dans les roches métamorphiques, la soude l'emporte sur la potasse.

Théorie du métamorphisme (M. Kayser). — Ainsi, pour expliquer la formation d'une roche de la série acide, il faut supposer l'arrivée de silicate de soude, et le départ de toutes les bases sauf la soude et l'alumine. Ce départ pourra évidemment former à côté une ro he basique. Mais pour qu'une roche basique se produise seule, il faut supposer une arrivée de métaux, principalement de fer, de magnésium et de sodium. D'où ces émanations ont-elles pu venir ?

1° Il est impossible d'admettre que les roches de contact soient des produits *fondus* par l'éruption de diabase, car elles contiennent des matières organiques en abondance.

2° On ne peut non plus admettre que la diabase elle-même soit un produit plus avancé, plus cristallin, du même métamorphisme qui aurait produit les roches de contact. Les roches les plus acides contiennent en effet

70 p. 100 de silice, et la diabase n'en renferme que 50 p. 100.

3° On ne peut admettre non plus que la diabase *une fois formée* se soit décomposée au voisinage des schistes et que ses éléments aient en partie passé dans ces derniers. Nulle part, en effet, la diabase n'est altérée au contact de la zone métamorphique.

4° L'hypothèse *d'un échange mutuel très lent* entre les schistes et la diabase est également inadmissible, car il y aurait alors des différences entre les diabases qui ont exercé un métamorphisme et celles qui n'en ont pas exercé, et cette différence n'existe pas. De plus si on réfléchit à l'immense étendue de certaines zones de contact, on voit que la teneur en soude de la diabase primitive n'aurait pu être assez grande pour alimenter ces zones.

Il ne reste donc plus, à mon avis (et c'est aussi l'opinion de MM. Lossen et Kayser), que l'hypothèse d'une formation hydato-pyrogénée de la diabase; une partie des eaux très chaudes, chargées de silicate de soude, a pénétré dans les sédiments juxtaposés, à la faveur de cette propriété d'infiltration particulière aux eaux silicatées alcalines et qui a été mise en lumière par les expériences de M. Daubrée. De plus cette infiltration a certainement été facilitée par l'état de plasticité des sédiments.

On sait que M. Daubrée a reproduit les feldspaths en chauffant à 400° du kaolin dans une solution de silicate alcalin, et qu'en remplaçant le kaolin par des argiles moins pures, il a obtenu des minéraux micacés. La présence de l'albite et du mica dans les spilosites et les desmosites est donc un appoint à notre hypothèse.

La formation d'une roche acide isolée s'explique en supposant dans les eaux un léger excès d'acide carbonique ; à la faveur de cet excès, la chaux, la magnésie et

le fer (mais pas l'alumine) seront dissous et entraînés. Ces eaux ont pu, en déposant un peu plus loin leurs métaux par le départ de l'acide carbonique, former à côté de la roche acide une roche basique. Enfin si la roche basique s'est formée seule, c'est qu'il n'est pas arrivé dans les eaux de l'acide carbonique en excès, mais seulement des bicarbonates, par exemple du bicarbonate de magnésie.

La présence constante de la pyrite dans les roches de contact s'explique par la réduction, au moyen des matières organiques, du sulfate de fer contenu en petite quantité dans les eaux.

L'hypothèse explique aussi l'irrégularité très grande que l'on observe dans la zone de contact, et la disparition assez fréquente de cette zone, car toutes les parties d'une même couche n'offraient évidemment pas la même résistance aux infiltrations. On se rend également compte de ce fait, que les roches de contact se sont formées tantôt au toit, tantôt au mur, tantôt à la fois au toit et au mur, et cela sans qu'il soit besoin de supposer des phénomènes d'intrusion de la matière hydrothermale à travers des couches préexistantes.

Nous sommes donc amenés par cette étude du métamorphisme aux conclusions par lesquelles j'ai commencé cet exposé. Il est désormais établi :

1° Que les diabases liées aux sédiments siluriens du Hartz sont de véritables diabases siluriennes ;

2° Qu'elles sont arrivées au fond de la mer silurienne à l'état de fusion ou de dissolution hydrothermale, par un très grand nombre de cheminées ou de fissures peu étendues, qu'il a malheureusement été impossible d'étudier jusqu'ici.

Avant de terminer ce premier article, je me permettrai de signaler en passant un fait assez curieux. J'ai dit que la compacité de la diabase augmentait à mesure que l'on

s'élevait dans les assises siluriennes ; or, il se trouve que le métamorphisme suit une loi absolument inverse, et que les diabases compactes ont exercé sur les schistes encaissants, une action beaucoup moins étendue que les diabases très cristallines du Nord. Nous verrons prochainement que les diabases dévoniennes qui sont de véritables porphyres, n'ont pas exercé de métamorphisme proprement dit. Ce double fait est donc une confirmation de cette idée de M. de Chancourtois, qui fait des porphyres, des « granites éventés, » c'est-à-dire ayant perdu la capacité d'agir sur les terrains encaissants.

Quant à la loi de distribution des amas de diabase dans les terrains siluriens du Hartz, elle est demeurée jusqu'ici complètement inconnue. En regardant la carte de M. Lossen, on verra combien sont capricieusement disséminés ces amas à travers le territoire. En particulier les grandes directions S.-W.-N.-E. et N.-W.-S.-E. qui joueront plus tard un rôle si considérable à l'époque du granite, ne se manifestent pas dans cette dissémination. L'absence des amas de diabase dans la grauwacke de Tanne, et leur éloignement assez grand de cette même grauwacke, semblent indiquer que le soulèvement de ce premier terme de la formation silurienne a déterminé au sein des mers la production des fissures ; mais pourtant la direction E.-W., qui est celle de ce soulèvement n'est point manifestée dans la distribution des amas. La question est donc loin d'être résolue ; je dois ajouter, du reste, qu'elle n'a guère été à l'étude jusqu'ici.

Une autre question fort intéressante et sur laquelle on ne sait absolument rien, c'est la question des schistes siliceux siluriens ou Hauptkieselschiefer. Faut-il y voir un produit du métamorphisme exercé par la diabase ? Je ne le crois pas, car la composition de ces schistes, est très différente de celle des roches de contact que nous avons étudiées. Il est probable cependant que les éma-

nations siliceuses qui ont produit ces schistes sont en rapport intime avec la diabase, car elles ont dû suivre d'assez près l'arrivée de celle-ci.

Diabases dévoniennes.

Les diabases dévoniennes se distinguent nettement des précédentes au simple point de vue pétrographique. La cristallinité si prononcée dans les roches siluriennes du type grenu et qui s'était déjà bien amoindrie dans les diabases compactes, va s'atténuant encore. Le facies porphyrique caractérisé par l'existence d'une pâte d'aspect amorphe contenant çà et là des cristaux plus ou moins grands, s'accuse de plus en plus. Les conditions d'apparition ont également changé ; l'épaisseur plus grande de la croûte terrestre oppose aux forces internes une plus grande résistance, par suite les amas sont peu nombreux, mais d'épaisseur et d'étendue considérables. Toutefois les roches arrivent encore au sein des mers et non sur les continents déjà émergés, mais leur éruption est caractérisée par un diamorphisme remarquable, comme si toute la masse était venue à l'état de boue plus ou moins liquide. La pâte amorphe affecte souvent une apparence schistoïde ; les amygdales ou cavités remplies postérieurement par de la calcite ou des terres vertes y abondent ; enfin des tufs se présentent presque toujours à la séparation du terrain sédimentaire et de la roche éruptive.

J'étudierai ces roches dans le bassin dévonien d'Elbingerode, au remplissage duquel elles ont pris une part considérable. Elles apparaissent aussi dans cette longue bande qui s'étend d'Osterode jusqu'au nord d'Altenau en passant par Lerbach, et qui n'est, comme nous le verrons, qu'un plissement du terrain dévonien caché sous les grauwackes du culm.

Les diabases dévoniennes sont des roches intercalées sous forme de nappes ou de véritables lits entre les deux étages calcaires de la formation, le calcaire à stringocéphales et le calcaire de l'Iberg ou calcaire à *Rhynchonella cuboïdes*. Tel est le résultat auquel nous conduiront quelques aperçus rapides sur la constitution du bassin d'Elbingerode.

Ainsi, dans le fond des mers où vivaient les stringocéphales, vers la fin du dépôt calcaire de cette période, des fissures se formèrent, provoquées sans doute par l'exhaussement ou l'abaissement des rivages. Par ces fissures s'épanchèrent des masses énormes de matière diamorphique qui remplirent tout le bassin d'une puissante série de tufs et de diabases; et c'est seulement après la cristallisation de ces masses, sans relation aucune avec leur apparition, que se formèrent au sein d'une mer nouvelle, les couches à *Rhynchonella cuboïdes*.

Différentes variétés de diabases et gîtes de fer subordonnés. — Avant de décrire le bassin dévonien d'Elbingerode, je consacrerai quelques lignes à l'examen des différentes variétés de diabase que nous devons y rencontrer.

Tout d'abord, et immédiatement au-dessus du calcaire à stringocéphales, se présente habituellement un véritable tuf de diabase et de calcaire. Ce tuf a tous les aspects et toutes les épaisseurs. Le plus souvent il débute par une masse calcaire de 1 à 30 mètres de puissance, à peine modifiée en tant que position, mais dont la constitution chimique a profondément changé. Ce calcaire a été imprégné, lors de l'arrivée des diabases, d'eaux ou de boues chargées de magnésie et de fer, et peu à peu par une suite de transformations chimiques qu'il est difficile de préciser, il s'est transformé en un véritable minerai de fer. *Telle est la première catégorie des minerais de fer*

d'Elbingerode : c'est un minerai calcaire que l'on peut considérer, soit comme une véritable roche métamorphique, soit plutôt comme le premier terme d'une formation tufacée. Ce minerai calcaire, dont la teneur en fer s'élève à 50 p. 100, passe insensiblement au calcaire primitif ; les roches intermédiaires nuancées de rouge et de vert, sont exploitées en plusieurs points du bassin, pour marbres décoratifs.

Du côté de la roche éruptive, au contraire, le minerai devient de moins en moins calcaire et de plus en plus siliceux. Il passe à une hématite rouge, généralement schisteuse, dont le caractère de tuf est manifesté clairement par la présence au sein de la masse de *petits noyaux calcaires* qui semblent *avoir été roulés* avant la consolidation. C'est *la deuxième catégorie des minerais de fer*, et peut être celle qui donne lieu aux exploitations les plus considérables. Quelquefois la première catégorie n'apparaît pas, comme si la surface du calcaire avait résisté absolument aux efforts de pénétration de la masse boueuse. La puissance moyenne des gîtes de cette catégorie est de 6 à 10 mètres. Le minerai est parfois hydraté d'un brun noirâtre ; quand il est anhydre il est d'un rouge pourpre très foncé. La teneur de ces minerais atteint parfois 60 p. 100.

Quelquefois le minerai de fer manque d'une façon complète et le tuf se compose uniquement d'une sorte de calcaire schistoïde très tendre, imprégné d'une matière magnésienne analogue à la séricite. Ces tufs s'observent facilement sur la route de Mandelholtz à Rothehütte entre le calcaire compact et les schalsteins. Leur couleur varie du rose tendre au vert jaunâtre, ils passent insensiblement d'un côté au calcaire, de l'autre aux schalsteins.

Les schalsteins ou diabases schisteuses sont des roches vertes composées exclusivement d'une pâte amorphe qui présente au plus haut degré l'apparence diamorphique.

Ces roches sont généralement schisteuses, pourtant elles sont parfois assez compactes pour qu'on puisse les exploiter dans certaines localités pour les constructions. L'église d'Elbingerode est construite en schalstein. Le plus souvent la pâte verte n'est pas très homogène, et présente certaines plages bleuâtre d'étendue variable, qui se réduisent parfois à de simples taches. Le développement croissant de cette tendance à la séparation des divers éléments conduit à une roche amygdaloïde, nommée *Mandelstein* et qui est extrêmement fréquente. Il est très rare de rencontrer une formation de schalstein ne contenant pas quelques lits de ces roches amygdaloïdes. Les amygdales sont généralement remplies par des terres vertes un peu plus claires que le reste de la masse, mais possédant néanmoins une composition chimique peu différente. Parfois aussi, mais beaucoup plus rarement, les amygdales sont remplies par de la calcite cristallisée, et la roche dont la pâte est alors plus compacte, prend l'aspect d'une véritable spilite.

Au-dessus des schalsteins et des mandelsteins arrivent les diabases proprement dites dont les roches précédentes doivent être considérées comme les tufs. Mais souvent les diabases manquent, et l'aspect tufacé règne de la base au sommet de la formation.

Le schalstein passe à la diabase par une roche porphyroïde à pâte encore diamorphique et à grands cristaux de labrador vert d'eau. Cette roche dont j'ai rapporté un très grand échantillon est très abondante dans le Mühlenthal entre Elbingerode et Rübeland. On peut la considérer comme le terme extrême d'un mandelstein où le remplissage des amygdales serait fait par du labrador. La pâte est d'un violet rougeâtre très uniforme ; on n'y aperçoit aucun débris roulé de calcaire ni de schalstein. Les cristaux de labrador, qui ont jusqu'à 3 et 4 centimètres de longueur, ont une section rectangulaire très nette. Leur

couleur est toujours verte, le plus souvent assez claire.

Nous arrivons enfin à la véritable diabase, dont la pâte n'est plus diamorphique, mais compacte ou plutôt microcristalline. Cette diabase est un mélaphyre feldspathique au sens rigoureux du mot. On peut voir sur l'échantillon que j'ai rapporté le facies de cette roche, et constater que c'est réellement le facies du porphyre vert antique. Dans une pâte d'un vert sombre, complètement aphanitique, mais que le microscope résout en labrador et en pyroxène, nagent de grands cristaux de labrador, à section rectangulaire ou carrée, d'un blanc légèrement teinté de vert. Le fait de l'apparition à l'époque dévonienne de ces mélaphyres considérés habituellement comme permiens ou triasiques, est des plus intéressants pour la géologie générale. Un grand nombre de roches regardées jusqu'à ce jour comme postérieures à l'époque houillère appartiennent peut être à des âges beaucoup plus reculés. Quant au fait lui-même, il est indéniable, car il y a *un passage graduel* et insensible du schalstein vert, schistoïde, à la roche encore diamorphique, à pâte violette et à grands cristaux de labrador, et de celle-ci au mélaphyre. J'ai pu observer ce curieux phénomène sur le flanc droit du Mühlenthal, vis-à-vis de l'embouchure du petit ruisseau de Suffer.

Mais il arrive souvent que les tufs diabasiques ne reposent pas directement, immédiatement, sur le calcaire à stringocéphales, et qu'ils en sont séparés par un véritable *lit* de porphyre. Ce porphyre, un des plus curieux du Hartz, a reçu de M. Lossen, en raison de sa composition minéralogique, le nom de porphyre albitifère (*albitporphyr*) ; nous l'étudierons au chapitre suivant. Qu'il me suffise pour le moment de dire que ce porphyre passe en certains points à une roche feldspathique extrêmement pyritifère, dont la décomposition à l'air a donné lieu à *une troisième catégorie de minerais de fer*, d'ailleurs peu

exploitée. Cette roche à pyrite s'observe tout le long du chemin qui remonte le Sufferthal ; elle forme au toit du calcaire à stringocéphales, un banc très constant de 50 centimètres à $1^{m},50$ d'épaisseur, constitué par des blocs fendillés à moitié décomposés, d'une couleur terreuse.

Au-dessus du porphyre à albite, dont la surface est extrêmement irrégulière, se trouve une *quatrième catégorie de gîtes de fer*, auxquels on a donné le nom de gîtes jaspeux. Ces minerais exploités en de très nombreux points du bassin, sont en effet absolument quartzeux. Leur dureté est exceptionnelle. Ils ont un aspect scoriacé caractéristique, et sont criblés d'une quantité considérable de druses et de cavités où le quartz a cristallisé postérieurement. L'aspect général est celui de masses de quartz colorées en rouge noir par l'imprégnation de l'oxyde de fer. On y rencontre quelquefois un peu de pyrite, mais en trop petite proportion, pour que ce minéral puisse être nuisible. La puissance de ce niveau est assez variable : à Mandelholtz, sur la route d'Élend à Elbingerode, où le redressement des couches donne au gîte l'apparence d'un véritable filon de quartz, elle est d'environ 2 mètres ; au Mühlenhal, elle est un peu moins considérable.

Ce minerai de fer est recouvert généralement, par la formation diabasique, qui débute encore par des tufs passant insensiblement aux schalsteins, et *contenant toujours des fragments* roulés du minerai quartzeux en même temps que des fragments du calcaire inférieur. Ces tufs ne *passent jamais à des minerais de fer*. Mais, en certains points, la formation diabasique n'a point recouvert les gîtes jaspeux, sur lesquels repose alors le calcaire à rhynchonella cuboïdes, en concordance absolue de stratification.

Il n'est donc guère possible d'admettre que la forma-

tion de ces gîtes jaspeux soit liée à l'éruption des diabases. Ces deux faits ont dû se succéder dans le temps, sans avoir entre eux aucun rapport. Il est, je crois, préférable d'attribuer ces gîtes, avec M. Lossen, à l'apparition du porphyre albitifère, sans lequel on ne les a jamais rencontrés. Quant à la manière dont ils se sont formés, elle n'est pas moins mystérieuse. M. Lossen se range à l'hypothèse de la décomposition lente à l'air libre, d'un silicate hydraté de fer, analogue à la chlorite, décomposition qui pourrait donner, d'après lui, de la silice libre et du sexquioxyde fer.

Un fait qui vient, à mon avis, jeter un grand jour sur cette question, est l'existence d'une *cinquième catégorie de minerais de fer* entre le calcaire à stringocéphales et la diabase : ce sont des minerais pisolithiques, en grains de grosseur très variable, absolument semblables aux minerais du Berri. Pour cette dernière catégorie, l'origine sédimentaire n'est pas douteuse, et cette origine ne se rattache nullement à la formation diabasique.

Ainsi, la fin de l'époque givétienne est marquée par l'apparition d'un niveau à peu près constant de minerais de fer; je dis à peu près constant, car nous avons vu qu'en certains points la diabase est superposée immédiatement au calcaire, mais ce ne sont là que des exceptions. Ce niveau de fer se présente de cinq manières différentes, à savoir :

1° Calcaire transformé sur une assez grande épaisseur en minerai de fer, au contact du schalstein ;

2° Minerai tufacé, renfermant toujours un peu de calcaire principalement à l'état de fragments roulés, mais toujours très siliceux, reposant immédiatement sur le calcaire, et passant de l'autre côté à de véritables schalsteins ;

3° Minerai provenant de la décomposition à l'air d'une roche pyritifère intimement liée au porphyre albitique ;

4° Minerai jaspeux ne renfermant que du quartz et du sesquioxyde de fer anhydre, toujours superposé à l'épanchement de porphyre albitique, et sur lequel reposent tantôt les schalsteins, tantôt le calcaire de l'Iberg ;

5° Minerai d'hématite brune en grains, analogue au minerai du Berri, de formation évidemment sédimentaire, entre le calcaire à stringocéphales et la diabase.

Théorie de la formation des gîtes de fer. — Pour expliquer d'une manière plausible la formation de tous ses gîtes, je crois qu'il convient de partager toute la période comprise entre la fin du dépôt du calcaire à stringocéphales, et le commencement du dépôt du calcaire à rhynchonella cuboïdes, en *deux âges successifs distincts: l'âge du fer* et *l'âge de la diabase.*

Pendant la formation des couches à stringocéphales, le bassin d'Elbingerode communiquait avec la grande mer dévonienne par un détroit peu profond ouvert dans les schistes de Wieda ; les courants incessants qui balayaient ce seuil y empêchaient d'ailleurs le dépôt du calcaire. Vers la fin de la période givétienne, un exhaussement progressif de ce seuil de schistes changea le détroit en isthme, et sépara complètement le petit bassin de la grande mer. En même temps ce mouvement des bords détermina au fond du bassin la production des fissures si fréquentes et si faciles à produire à l'époque dévonienne. C'est dans ce lac fermé, peu profond puisque les polypiens y vivaient partout, de très petite étendue (20 kilomètres sur 10), que les réactions chimiques les plus variées vont se produire.

Par les fissures arrivent tout d'abord des eaux chargées de fer à la faveur d'un excès d'acide carbonique, et qui, ne pouvant conserver cet acide carbonique à la pression extérieure, déposent près des bords des fissures, des amas de minerai pisolithique. Ailleurs, simultanément et

postérieurement, apparaissent des sources qui contiennent, à la fois ou à faible distance dans le temps et l'espace, des silicates d'alumine de fer et de soude, et de l'hydrogène sulfuré. Dès leur arrivée dans le bassin, il se fait un partage : l'hydrogène sulfuré précipite le fer et il se forme au-dessus même des calcaires un premier niveau à la fois feldspathique et pyriteux, pendant que le restant de la dissolution, débarrassé de la plus grande partie de son fer et contenant surtout du silicate d'alumine et de soude, et de la silice libre, commence à cristalliser en un porphyre albitique. A travers ce premier manteau de roches, les sources continuent à monter, mais pour une cause ou pour une autre, l'hydrogène sulfuré n'apparaît plus. Traversant le porphyre à peine consolidé, les eaux cèdent leurs alcalis à la silice libre, atténuant ainsi l'acidité de la roche ; et ce qui reste à la surface, c'est précisément du silicate de fer qui se dépose peu à peu sous la forme d'un minéral analogue à la chlorite, et qui, émergeant plus tard par les oscillations du fond, se décomposera en quartz libre et oxyde de fer. Ces réactions violentes au sein d'une masse d'eau très chargée de sels, expliquent l'aspect tourmenté de la surface du porphyre albitique, qui contraste si étrangement avec la régularité absolue du calcaire inférieur.

Tel fut sans doute l'âge du fer, que l'on doit considérer comme un précurseur des grandes éruptions qui vont suivre. A ces émanations hydrothermales succèdent les matières boueuses. Dans ces boues prédomine d'abord le fer : c'est un reste de l'âge précédent. Roulant à travers le bassin dont l'eau a presque complètement disparu, ces boues forment des tufs de calcaire, dont le minéral chloritique, par décomposition lente, fera bientôt des minerais de fer. En même temps les eaux de la masse boueuse pénètrent à travers le calcaire que l'éruption a fissuré et rendu perméable, et le transforment soit en un minerai

véritable, soit en un marbre griotte. Puis le fer disparaît peu à peu, remplacé par la magnésie; sur les schalsteins rouges se déposent les schalsteins violets, puis enfin les schalsteins verts, et c'est seulement lorsque les grands phénomènes mécaniques et chimiques sont terminés, lorsque les eaux de la matière boueuse peuvent se rassembler et cristalliser lentement que se forme la véritable diabase, c'est-à-dire le mélaphyre feldspathique.

Cet âge de la diabase a pu durer très longtemps, car, dans le dévonien moyen du Nassau, on observe de nombreux lits de schalsteins séparés par des bancs de calcaires et de schistes. Les phénomènes que j'ai exposés ont donc pu être relativement tranquilles et ne pas se produire simultanément en tous les points du bassin.

Quant à l'âge précis de l'apparition du fer, il est marqué à Brillon, en Westphalie, où *la partie supérieure du calcaire à stringocéphales* est formée d'une couche d'oligiste à crinoïdes, contenant *Phacops latifrons*, *Stringocephalus Burtini* et *Rhynchonella cuboïdes*, c'est-à-dire un mélange des faunes eiféliennes et famenniennes.

A la fin de l'âge de la diabase, quand tout est calmé et que les fissures sont de nouveau fermées, le seuil schisteux s'abaisse, l'isthme redevient détroit et la mer rentre. Sur ce sol éruptif immergé de quelques mètres *et qui s'enfoncera progressivement* commence le dépôt de calcaire corallien de l'Iberg, à *Rhynchonella cuboïdes.*

Minerai de l'Iberg. — En deux autres points du Hartz, à Lerbach, entre Clausthal et Osterode, et à l'Iberg, les minerais de fer apparaissent en rapport intime avec des couches dévoniennes. A Lerbach, le minerai est un tuf de schalstein entre le calcaire à stringocéphales et le schalstein vert. A l'Iberg on ne connaît pas la diabase qui n'apparaît pas au jour et que des travaux souterrains à 400 mètres au-dessous de la cime de la mon-

tagne n'ont pu encore découvrir. Mais le minerai paraît identique au minerai jaspeux d'Elbingerode et doit être plutôt en relation avec un lit de porphyre albitique.

Ce minerai de l'Iberg offre ceci de particulier, qu'il contient du sulfate de baryte. Or au Rösteberg, près de Grund, on voit le sulfate de baryte alterner en lits minces avec la dolomie dans la *dolomie du zechstein*. Ce fait ne s'observe qu'à cet endroit dans toute la formation du zechstein, et précisément à cet endroit, passe en profondeur, le grand filon d'Hülfe Gottes, très riche en barytine. M. de Groddeck en conclut que les émanations hydrothermales qui ont rempli le filon n'étaient point taries encore à l'époque du Zechstein. Je pense donc que ces mêmes émanations ont pu modifier légèrement le minerai de fer voisin de l'Iberg, et y former un peu de sulfate de baryte.

Zone des diabases entre Harzburg et Osterode. — Ces deux apparitions de couches évidemment dévonienne dans le Hartz supérieur, prouvent qu'à l'époque des diabases un grand bassin dévonien s'étendait depuis Osterode jusqu'à Oker. Dans tout l'Oberharz proprement dit, entre Clausthal, Altenau et Osterode, le bassin était peu profond et favorable au dépôt des calcaires coralliens à stringocéphales ou à rynchonella cuboïdes ; plus au nord, au contraire, le bassin s'approfondissait rapidement pour passer à la haute mer et de forts courants venaient balayer les rivages aujourd'hui défigurés par l'éruption postérieure du granite : c'est pourquoi toute la formation de Goslar est argileuse ou gréseuse. Quant à la diabase, elle n'a apparu que près des rivages, et a formé tout le long du grand massif de quartzite du Bruchberg, une bande absolument parallèle au bord de ce massif.

Ainsi à la fin de la période silurienne un premier soulèvement eut lieu tout le long d'une ligne parallèle à la

ligne Osterode-Harzburg ; la ligne des faîtes du Bruchberg a rigoureusement cette même direction. Le rivage de la mer dévonienne était formé dès lors par le quartzite qui s'étendait sans interruption aucune depuis Osterode jusqu'à Ilsenburg. Je ne veux pas pour le moment insister sur ces faits, j'y reviendrai plus loin à propos du granite et de la formation générale du Hartz. Je veux seulement faire remarquer ici le parallélisme absolu entre le rivage de quartzite et la longue fissure par où jaillit la diabase.

Près d'Osterode comme à Lerbach, comme à Altenau, comme enfin dans l'énorme épanchement qu'elle a formé près d'Harzburg, la diabase a absolument les mêmes caractères que dans le bassin d'Elbingerode. Composée généralement d'une pâte diamorphique et formant alors des schalsteins, elle passe en certaines localités à un véritable porphyre semblable au mélaphyre feldspathique du Mühlenthal. Près d'Harzburg, la composition des schalsteins est légèrement modifiée par le métamorphisme du granite ; la roche est chargée de silice, beaucoup plus dure, et renferme en certains endroits des petits cristaux de quartz.

De Breitenbusch, près Osterode, jusqu'au Polsterthaler Teich près Altenau, la bande de diabase s'étend sans interruption. Là, il y a un arrêt brusque, mais un peu plus loin la roche reparaît au-dessus d'Altenau. La direction générale de la bande est heure-5, sa largeur moyenne est de 300 mètres ; mais près de Clausthal la bande va s'amincissant avant de disparaître au Polsterthaler Teich.

Partout la zone véritablement dévonienne ou *zone des blattersteins*, qui se compose d'une alternance de schalsteins amygdaloïdes, de schistes calcaires et de minerais de fer, est comprise entre deux bandes *de diabase grenue* tout à fait différente de la diabase dévonienne. Nous verrons plus loin que cette diabase doit être rapportée au culm.

Dans les calcaires ferreux de la zone des blattersteins, on trouve en abondance *Stringocephalus Burtini*, *Aulopora alternans*, des tentaculites et des encrines. Il y a jusqu'à sept lits de minerai de fer, séparés par des schalsteins amygdaloïdes. Ce minerai est toujours, comme je le disais tout à l'heure, de la deuxième catégorie des minerais d'Elbingerode, c'est-à-dire un minerai tufacé, argilo-calcaire. C'est lui qui alimente la forge de Lerbach.

Les roches amygdaloïdes des Kucholz Klippen, entre Buntenbock et Lerbach, ne sont autre chose que des schalsteins. Mais sur le flanc sud-est de la montagne apparaît la bande de diabase grenue séparée du schalstein par un niveau de schistes de Goslar.

Pendant longtemps toute cette zone de diabase a été considérée comme silurienne; on donnait alors la coupe reproduite Pl. XI, *fig.* 4.

La véritable coupe est plutôt celle *fig.* 5, Pl. XI, donnée pour la première fois par M. de Groddeck.

Bassin d'Elbingerode. — Je termine cet article, ainsi que je l'ai annoncé, par la description rapide du bassin dévonien d'Elbingerode, où la formation des diabases est le mieux représentée.

Ce bassin a la forme d'une ellipse aplatie dont le grand axe est dirigé au nord 80° est. Il est entouré de toutes parts par les schistes de Wieda, recouverts en quelques points, de schistes siliceux ou de schistes de Zorge. Le fond de ce bassin forme aujourd'hui une région peu accidentée, d'où les forêts ont depuis longtemps disparu pour faire place à la culture, et qui contraste singulièrement avec les montagnes siluriennes environnantes, entièrement couvertes de sapins. Cette région s'étend depuis le ruisseau de Zilliger, affluent de l'Hottemme au nord, jusqu'à la Bode, au sud. Cette dernière rivière la limite à peu près et n'en détache, à Rübeland, qu'un faible lam-

beau. La longueur de ce bassin est de 20 kilomètres, sa largeur de 10 kilomètres environ.

L'action réciproque des deux soulèvements granitiques du Brocken et du Rammberg, à l'époque carbonifère, a fortement plissé la formation dévonienne. Il en est résulté une division de l'ancien bassin en trois autres, séparés par des selles que l'action des eaux a nivelées jusqu'à la grauwacke. La coupe générale parallèlement à l'axe du Rammberg est représentée par la *fig.* 6, Pl. XI.

Le bassin du nord est le plus petit des trois ; sa plus grande longueur n'excède pas 4 kilomètres. Il est entouré de tous côtés par la grauwacke dévonienne qui forme partout le toit de la formation, par suite du renversement des couches.

Tout le long de la bordure nord de ce bassin, on exploite de nombreux gîtes de fer; ce sont ces exploitations toujours faites à ciel ouvert qui ont mis en évidence l'étrange reploiement des assises. Là se trouvent ces minerais de fer pisolithiques dont j'ai parlé plus haut ; plus rarement le porphyre albitique se rencontre avec les minerais jaspeux qui lui sont rattachés. Généralement le schalstein repose immédiatement sur le calcaire à stringocéphales par un lit de minerai tufacé, puissant de 4 à 10 mètres. Tout l'intérieur du bassin est rempli par le schalstein qui ne passe nulle part au véritable mélaphyre feldspathique. Ce schalstein n'est point surmonté par le calcaire de l'Iberg; mais en un seul point, à la limite orientale du bassin, il est recouvert d'un petit lambeau de schistes jaunes à *Cypridina serratostriata*.

Séparé de ce premier bassin par une selle de grauwacke large de 2 kilomètres, le bassin du centre, le plus considérable des trois, s'étend à l'ouest jusqu'à Mandelholz, à l'est jusqu'à Hüttenrode. C'est à proprement parler le bassin d'Elbingerode, car il renferme cette ville, bâtie sur le calcaire à stringocéphale. Il présente dans l'ensemble

la curieuse disposition des couches du bassin nord. Sur les bords, la grauwacke est superposée au calcaire à stringocéphales, et celui-ci au minerai de fer. L'éruption du porphyre albitique a été à peu près générale dans toute cette région; sauf au sud, aux environs de Rübeland. La mine de Neuwerk exploite le minerai tufacé entre le calcaire à stringocéphales et la diabase.

A l'embouchure du Sufferthal une énorme faille a ramené au-dessus du calcaire à stringocéphales la diabase sous-jacente. Cette masse de diabase est du reste recouverte un peu plus loin par la puissante formation du calcaire de l'Iberg, dont l'épaisseur dépasse 300 mètres. C'est dans ces calcaires que la Bode s'est frayé un passage à Rübeland, en formant l'étroite gorge qui a valu à la localité son renom de pittoresque. L'action des eaux a, en outre, donné naissance à de nombreuses cavernes au sein du massif calcaire. Les plus célèbres de ces excavations sont les grottes de Biels et de Baumann, qui s'ouvrent vis-à-vis l'une de l'autre à l'embouchure de la Mühle.

La *fig.* 7 de la Pl. XI représente l'accident de la partie inférieure du Sufferthal; cette coupe est faite parallèlement au Mühlenthal, c'est-à-dire N.-W. S.-E. approximativement. La *fig.* 8 représente une coupe dirigée suivant le prolongement de l'axe du Sufferthal à travers l'énorme plateau de calcaire à *Rhynchonella cuboïdes*. Le point culminant de ce plateau forme une espèce de cirque dû au déchirement du calcaire, et au fond de ce cirque apparaît le porphyre albitique surmonté comme partout par le minerai de fer.

Ainsi malgré le petit nombre des niveaux et leur netteté, la complication extrême que présente le bassin au point de vue des accidents stratigraphiques, n'a pas encore permis d'achever la carte au $\frac{1}{25000}$ des environs d'Elbingerode.

Le bassin du sud est de dimensions presque aussi restreintes que le bassin du nord. Il est séparé du précédent par une selle de grauwacke surmontée en quelques points de lambeaux de la formation des schistes siluriens de Zorge ; ce qui prouve qu'il existait là, antérieurement au soulèvement, une presqu'île silurienne. La coupe du bassin sud est absolument la même que celle du nord ; au-dessus dela diabase le calcaire de l'Iberg n'apparaît nulle part, soit qu'il ne se soit pas déposé, soit plutôt qu'il ait été enlevé par les érosions postérieures. Tout le long du rivage sud, sauf en un point, le calcaire à stringocéphales n'apparaît point, et le renversement n'a pas été complet.

Diabases du Culm.

Je dirai peu de chose de cette troisième catégorie de diabase, dont l'importance dans la formation générale du Hartz est tout à fait secondaire. Ce qu'il y a dans la question de particulièrement intéressant, c'est le fait même de l'apparition à l'époque carbonifère, de roches franchement cristallines, en tout semblables aux diabases grenues de l'âge silurien ; c'est comme une récurrence de cristallinité succédant à la période des schalsteins adélogènes. La cause première de cette récurrence de cristallinité est sans doute la même qui a permis la production d'un véritable granite en pleine époque carbonifère, alors que des porphyres parfaitement caractérisés avaient déjà pris naissance.

Les diabases du culm apparaissent seulement dans la zone de roches éruptives dont j'ai parlé plus haut et qui s'étend d'Osterode à Harzburg, et dans quelques points isolés de la formation dévonienne de Goslar. Elles forment toujours des lits régulièrement interstratifiés dans les assises sédimentaires, soit carbonifères, soit dé-

voniennes; ce qui prouve qu'il y a eu simultanément épanchement dans le fond de la mer où se déposait la grauwacke du culm, et intrusion de la matière épanchée à travers des couches plus anciennes. On a pu cependant soutenir l'hypothèse de deux apparitions de ces diabases grenues : l'une se produisant à la fin de la période dévonienne pendant le dépôt des schistes de Goslar, l'autre n'ayant lieu que longtemps après, à l'époque du culm. Mais comme il y a identité complète entre les diabases des schistes de Goslar et celles de la grauwacke, je considère cette hypothèse comme peu vraisemblable. Elle est d'ailleurs inutile : le fait de l'intrusion des roches éruptives de formation hydro-thermale n'était nullement une exception dans la géologie.

Ces diabases ont donné naissance, principalement quand elles se sont formées au milieu des schistes, à un véritable métamorphisme, très semblable à celui qu'ont exercé les diabases siluriennes. Les schistes sont durcis sur une épaisseur plus ou moins grande, et ressemblent parfois à de véritables schistes siliceux, dont ils se distinguent *pourtant par leur teneur assez élevée en soude.* Leur couleur varie du noir foncé au vert clair ; ils renferment de très nombreuses aiguilles de quartz, qui traversent la masse en tous sens. Quant à la grauwacke, elle n'est pas modifiée dans son aspect extérieur, mais sa teneur en soude, presque nulle dans le cas ordinaire, atteint par ce métamorphisme, jusqu'à 2 et 3 p. 100.

Ainsi ce métamorphisme comme celui des roches siluriennes, a consisté dans une silicification des sédiments encaissants, accompagnée d'un très grand enrichissement en soude. Si l'on rapproche ce fait de *l'identité absolue* de composition minéralogique et chimique des diabases siluriennes et des diabases du culm, on conclut immédiatement à l'identité de formation et d'ap-

parition de ces deux catégories de roches d'un âge si différent.

Au point de vue des conditions de gisement, il convient de distinguer les diabases de la grande zone d'Altenau à Lerbach, et celles qui apparaissent en pointements isolés au sommet des plis du bassin de Goslar. La grande zone des *Blattersteins*, c'est-à-dire des diabases dévoniennes liées au calcaire à stringocéphales et aux minerais de fer, que nous avons suivie dans les précédentes pages, depuis Osterode jusqu'à Harzburg, est *accompagnée* sur presque toute sa longueur de deux bandes parallèles et symétriques de diabases grenues. Ainsi *la même grande fissure*, ou le *même faisceau de fissures parallèles*, a donné successivement passage aux schalsteins de l'âge dévonien et aux roches cristallines de l'âge du culm.

Depuis longtemps, sans faire aucune spécification d'âge, M. de Groddeck a signalé l'existence de ces deux rubans de diabase grenue comprenant entre eux la zone des blattersteins. Une coupe relevée par lui près de l'Hutthal est particulièrement intéressante. Des deux *côtés* des blattersteins qui se composent d'une alternance de schalsteins et de calcaires schisteux jaunes, la diabase grenue se présente en lits nombreux interstratifiés dans les schistes de Goslar, puis apparaît enfin nettement dans la grauwacke. Les phénomènes de métamorphisme sont très faciles à observer.

Au Polsterthaler Teich, les diabases grenues disparaissent en même temps que les schalsteins. Elles ne reparaissent qu'au nord d'Altenau, sur la route qui mène de l'Okerthal à la Torfhaus, et peuvent se suivre dès lors sans interruption jusque près d'Harzburg. Là, sur le bord sud occidental de la grande formation de schalsteins, elles constituent un énorme amas dont les délimitations exactes sont encore peu connues. Cet amas

est enclavé dans le cercle d'action du granite, et la roche a une teneur en silice un peu plus élevée que dans les autres points de la zone, ce qui prouve d'une façon certaine la postériorité du granite à la diabase.

Dans le bassin de Goslar, la diabase forme, comme je l'ai déjà dit, le sommet de la plupart des plis de la formation dévonienne. Là encore la roche éruptive est grenue, cristalline, parfaitement semblable aux roches siluriennes ; elle semble interstratifiée entre les schistes de Goslar; mais les limites sont très difficiles à observer, à cause de la forme régulièrement arrondie des montagnes, et de la présence sur tous les sommets d'épaisses forêts de sapins. Ces petits pointements de diabase sont très nombreux aux environs du Rammelsberg, avec lequel ils n'ont d'ailleurs aucun rapport.

L'existence de ces diabases incontestablement carbonifères fournit une explication qui me paraît plausible, de la formation des schistes siliceux à adinoles, intercalés dans la grauwacke du culm.

Ces schistes (*) forment trois bandes rigoureusement parallèles entre elles et à la bande des diabases, qui s'étendent tout le long de cette dernière, entre elle et le massif de quartzite du Bruchberg. Les intervalles entre ces trois bandes sont remplis par des grauwackes ou des schistes à posidonies.

La bande nord-ouest, la plus rapprochée des diabases apparaît près d'Osterode, au-dessous du zechstein, et s'étend de là jusqu'à l'Éberthalskopf, entre Altenau et Harzburg. Près de Lerbach, sur le flanc du Dürrenkopf, cette bande est *au contact* immédiat de la diabase grenue. Partout ailleurs, elle en est séparée par des grauwackes ou des schistes argileux.

(*) Von Groddeck, *Grundriss zur Geognosie des Harzes*.

La bande sud-est s'étend depuis Osterode jusqu'à Oker, en suivant le bord du massif de quarzite et projetant de nombreux rameaux dans l'intérieur de ce massif.

Ainsi que je l'ai dit plus haut, ces schistes siliceux contiennent toujours des adinoles, c'est-à-dire des roches jaspoïdes, à couleurs vives, rouges ou vertes, contenant de 4 à 10 p. 100 de soude. Ces adinoles apparaissent soit en blocs épars, soit en véritables lits au milieu de la masse.

La présence de ces adinoles et le parallélisme des zones de schistes siliceux à la zone des diabases, me conduisent à cette hypothèse, que ces schistes siliceux sont, au point de vue de leur origine, en rapport intime avec les diabases. A la fin de l'éruption de ces dernières, des sources minérales apparurent moins riches en éléments cristallisables, et comme un reflet éloigné des émanations hydro-thermales qui avaient formé la roche éruptive. Ces sources transformèrent les schistes argileux du culm; la soude qu'elles contenaient se concentra soit dans des concrétions sphériques, soit dans de véritables lits parallèles à la stratification, et forma les adinoles, tandis que les autres parties de la masse étaient simplement changées en roches siliceuses ou schistes siliceux.

On objectera à cette théorie que les schistes siliceux de Lauthenthal, qui contiennent aussi des adinoles, sont situés à une assez grande distance de toute apparition de diabase; mais la diabase peut très bien exister en profondeur sans apparaître au jour, et de plus les fumerolles se produisent souvent à une grande distance des volcans.

Mais alors, pour une raison analogue, ne doit-on pas attribuer aux phénomènes consécutifs à l'éruption des diabases siluriennes, la formation des hauptkieselschiefers, ou schistes siliceux siluriens? Cela est probable,

mais les rapports de gisement sont mal connus, et de plus ces hauptkieselschiefers ne paraissent pas renfermer d'adinoles. Il faudrait donc supposer que les sources minérales ne contenaient pas de soude ; mais alors il n'y a plus de raison pour rattacher leur apparition à l'éruption des diabases.

CHAPITRE III

DES PORPHYRES

Sans être aussi importants que les diabases dans l'histoire géologique de la région, les porphyres du Hartz offrent un intérêt presque aussi grand, en raison surtout de la grande variété de leur facies et de la diversité que l'on observe dans leurs conditions de gisement.

Depuis longtemps ces porphyres ont été distingués par Hausmann et Streng, abstraction faite des conditions d'âge, en un certain nombre de catégories. En écartant celles de ces catégories qui se rattachent à de simples facies porphyroïdes de véritables granites, je conserverai la liste suivante :

1° Porphyres rouges quartzifères ;
2° Porphyres gris quartzifères ;
3° Mélaphyres feldspathiques d'Elbingerode ;
4° Porphyre albitique d'Elbingerode ;
5° Aphanites d'Ilfeld ;
6° Porphyrite d'Ilfeld.

Pour chacune de ces catégories je donnerai une description rapide de la roche et une étude aussi exacte que possible des conditions de gisement et d'âge.

1° *Porphyres rouges quartzifères.* — Ces porphyres

forment les trois plus hautes montagnes du bord méridional du Hartz : l'Auerberg, le Ravenskopf et les Grosse Knollen. Des collines de Lauterberg, d'Herzberg et d'Ilfeld, on voit au loin ces trois montagnes s'élever à l'horizon et découper sur le ciel un profil identique (Pl. XI, *fig.* 9).

Outre ces trois masses principales, on rencontre une grande quantité de petits amas de porphyre disséminés dans la grande formation silurienne du centre et du sud du Hartz, Streng rattachait à ces mêmes porphyres les apophyses de granite porphyroïde de la région d'Ilsenburg.

L'étude pétrographique de ces roches est fort difficile, car le plus souvent la pâte a subi un commencement de décomposition, caractérisé par une odeur d'argile plus ou moins prononcée. Pourtant en certains points de l'Auerberg, on peut obtenir des échantillons de roche assez nette.

La pâte est le plus souvent d'un brun rougeâtre passant parfois à une teinte violacée, plus rarement à une teinte grise ou verdâtre. La dureté de cette pâte est supérieure à celle du feldspath et atteint presque celle du quartz. Au microscope, ce magma adélogène se résout en un assemblage micro-cristallin de quartz et de feldspath, absolument semblable à celui qui constitue la pâte d'un elvan.

La cassure de la roche est irrégulière, rarement esquilleuse ou conchoïdale.

Dans cette pâte apparaissent, même à l'œil nu, de nombreux cristaux de quartz et de feldspath, accompagnés parfois de quelques lamelles de mica noir et de prismes de pinite.

Le quartz est ou bien cristallisé en doubles pyramides très nettes, ou simplement rassemblé en boules rondes, qui se fendent sous le choc suivant une face absolument plane. Les grains comme les cristaux sont incolores ou

légèrement enfumés. Dans certaines plages exceptionnelles, le quartz manque complètement et la roche est absolument aphanitique.

Le feldspath est toujours de l'orthose, fréquemment kaolinisé. Les cristaux sont de grosseur variable, de 1 millimètre à 2 et 3 centimètres ; leurs faces sont généralement peu nettes, et les arêtes paraissent comme usées par le frottement de la pâte ; ils sont le plus souvent simples, mais la macle de Carlsbad est pourtant assez fréquente. La couleur de ces cristaux varie du rouge brun au blanc rosé.

Les lamelles de biotite sont rares, mais en revanche on observe souvent, surtout dans la roche de l'Auerberg, de beaux cristaux hexagonaux, de pinite verdâtre. Exceptionnellement on rencontre au sein de la roche de petites feuilles de graphite.

Les porphyres normaux, à quartz et feldspath, étaient désignés autrefois sous le nom d'euritporphyr. Mais cette dénomination, due à Hausmann, est impropre, car la pâte est simplement microcristalline, et ne présente pas de tendance aux formations globuleuses.

Les porphyres où les cristaux sont rares, et qui ressemblent à des aphanites claires sont nommés hornsteinporphyr. Enfin les porphyres très décomposés de l'Eichelnkopf, près d'Herzberg, ont été nommés par Hausmann *thonporphyroïd*. Ce ne sont point de véritables argilophyres, de formation diamorphique, mais des porphyres postérieurement décomposés.

Voici, d'après Streng, quelques analyses de ces porphyres : 1° Porphyre du Kuckhalm Thal : pâte très homogène avec des petits cristaux d'orthose et des cristaux de quartz visibles seulement au microscope ou à la loupe :

Silice.	75,83
Alumine.	13,19
Protoxyde de fer.	2,23

Protoxyde de manganèse	0,19
Chaux	1,01
Magnésie	0,46
Potasse	7,87
Eau	0,55

Le rapport de O des bases à O de SiO^2 est égal à 0.216;
2° Porphyre normal de l'Auerberg :

Silice	75,13
Alumine	15,15
Protoxyde de fer	1,22
Protoxyde de manganèse	0,14
Chaux	0,53
Magnésie	0,24
Potasse	6,93
Eau	1,57

Le rapport est de 0,228.

La composition moyenne peut être considérée comme résultant de 1 équivalent d'orthose, et de 3 équivalents de quartz.

Les conditions de gisement de ces porphyres sont assez mal connues jusqu'ici. Pourtant, d'après M. Lossen, toutes les apparences sont pour une origine exclusivement filonienne : les masses porphyriques de l'Auerberg et du Ravenskopf ne seraient que des parties larges d'un grand faisceau de filons ou dykes parallèles, dont la direction générale serait comprise entre les heures 8 et 11, c'est-à-dire parallèle à peu près à l'axe des grauwackes.

Près de Lauterberg, au Scharzfelder Zoll, on peut effectivement observer un véritable filon de porphyre coupant presque verticalement les assises siluriennes. Ce filon a 18 mètres environ de puissance, et une direction heure-8. Il est constitué par un porphyre normal, très semblable à celui du Ravenskopf. Les couches de grauwacke schisteuse qui forment ses deux épontes sont dirigées heure-3 et pendent de 45° au S.-E. ; ces couches sont nettement

tranchées par le filon sans relèvement sensible. La roche n'est nullement altérée au contact du porphyre, qui, comme la plupart des porphyres, n'a exercé aucun métamorphisme.

Un autre filon, de 2 mètres de puissance, s'observe entre Kœnigshütte et Oderfeld, sur la rive gauche de l'Oder.

Enfin sur les bords du massif de l'Auerberg, on voit en de nombreux points de véritables filons diverger de la masse, dans une direction à peu près constante de h.-11. Il y a passage insensible du porphyre de ces filons, où une pâte très compacte renferme de très petits cristaux, au porphyre normal de l'Auerberg à grands cristaux de feldspath. Un fait intéressant, constaté pour la première fois par M. Lossen, est l'existence de véritables sphérolithes au sein du porphyre de ces petits filons. Ces sphérolithes ont un diamètre variable qui atteint parfois 20 centimètres ; le centre est tantôt quartzeux, tantôt feldspathique, et non toujours quartzeux comme dans les pyromérides.

Ainsi je crois qu'il convient de regarder ces porphyres rouges quartzifères comme ayant une origine exclusivement filonienne. Quant à l'âge de ces porphyres, il est impossible de l'évaluer d'une manière précise, car on ne les a rencontrés jusqu'ici que dans une formation silurienne à laquelle ils sont très nettement postérieurs.

L'exemple du filon du Scharzfelder Zoll semble prouver qu'ils sont également postérieurs au plissement des assises siluriennes. Il s'ensuivrait que ces porphyres, que leur composition tendrait à faire considérer comme très anciens, seraient en réalité postérieurs au dépôt des grauwackes du culm ; car nous verrons plus loin que ces derniers sédiments ont participé au plissement de la formation silurienne.

C'est qu'en effet il y a eu, dans les éruptions du Hartz,

un retard singulier, manifesté par l'apparition du granite à l'époque carbonifère. Peut-être ce retard n'est-il en réalité, comme je le disais dans le dernier chapitre, qu'une récurrence de cristallinité. Le premier âge cristallin ou phanérogène n'aurait vu se produire que les diabases grenues siluriennes, puis aurait été suivi immédiatement d'un âge micro-cristallin ou adélogène, représenté par le porphyre albitique d'Elbingerode, les schalsteins et le porphyre vert antique. C'est alors que ce serait produite la récurrence, manifestée par l'apparition des diabases grenues du culm et du granite ; enfin, après le granite, postérieurement au plissement des couches seraient venus les différents porphyres, et en premier lieu les porphyres rouges quartzifères.

La confusion qui a duré si longtemps, de ces derniers porphyres et des apophyses de granite porphyroïde du bord oriental du Brocken, prouve que le granite et le porphyre sont à peu près du même âge. C'est donc une confirmation à mon hypothèse.

Nous verrons que le doute n'est plus permis à l'égard des porphyres gris quartzifères, et que ceux-ci sont certainement post-carbonifères. C'est une raison de plus pour déclarer également post-carbonifères les porphyres rouges dont la composition est peu différente.

De plus, ces porphyres sont certainement antérieurs aux aphanites de la région d'Ilfeld ; ils sont donc venus probablement pendant la période houillère, et le retard des éruptions du Hartz est à peu près égal à l'intervalle écoulé entre le dépôt des dernières assises du dévonien anglais et la formation de la houille.

2° *Porphyres gris quartzifères.* — Ces roches, dont j'ai rapporté plusieurs échantillons, apparaissent en de nombreux filons de puissance variable, dans le bassin dévonien d'Elbingerode. Ces filons semblent former un fais-

ceau qui traverse tout le Hartz, car on les rencontre en beaucoup de points de l'intérieur du massif, et on les suit jusqu'au Poppenberg, près d'Ilfeld. Partout la roche offre une identité frappante de composition et de facies.

Ce porphyre est constitué par une pâte grise microcristalline, englobant de nombreux cristaux d'orthose et d'oligoclase, des feuillets d'un minéral chloritique vert sombre, et des cristaux plus ou moins abondants de quartz et de pinite.

La pâte est plus dure que le feldspath, mais moins dure que la pâte des porphyres rouges, ce qui tient à une proportion de silice beaucoup moins élevée. Cette pâte s'altère assez rapidement à l'air, perd son éclat d'elvan, et prend une odeur d'argile. Elle est rarement tout à fait compacte; souvent la loupe seule y fait apercevoir une multitude de cristaux: au toucher elle est âpre, comme une pâte de trachyte.

Au microscope cette pâte apparaît comme un agrégat de cristaux de quartz, d'orthose et d'oligoclase, avec de très nombreux feuillets du minéral chloritique vert. L'aspect de cette pâte est alors à peu près celui de la roche elle-même vue à l'œil nu.

Les cristaux d'orthose sont de dimension variable, depuis quelques millimètres jusqu'à 4 et 5 centimètres. Contrairement à ce que j'ai dit pour les porphyres rouges, ils sont absolument nets et leurs arêtes, parfaitement tranchantes, ne paraissent nulle part avoir été émoussées par le frottement de la pâte. Généralement simples, ils sont parfois maclés suivant la loi de Carlsbad, et présentent dans la section une ligne de macle précise. Leur couleur est blanche, parfois un peu rosée; leur éclat est mat: ils se kaolinisent très rapidement.

L'oligoclase, généralement moins abondant que l'orthose, prend quelquefois sur le bord des filons (voir plus loin) une grande prépondérance. Les cristaux sont petits,

nets, souvent maclés et présentant des stries visibles à l'œil nu. Leur couleur est blanche avec une teinte un peu verdâtre, due à ce qu'ils contiennent de faibles parcelles du minéral chloritique, parcelles perceptibles seulement au microscope.

Le quartz est, en général, beaucoup moins abondant que dans les porphyres rouges. Dans les variétés riches en oligoclase, il devient même extrêmement rare. Mais en revanche il est toujours cristallisé, le plus souvent bipyramidé, et ne se présente jamais en globules. Les cristaux microscopiques de la pâte semblent offrir les mêmes caractères.

Le minéral chloritique, dont le nom minéralogique n'est pas encore exactement déterminé, paraît être avec le quartz, l'élément de première consolidation. Il se présente en feuillets nombreux d'un vert sombre, absolument dépourvus d'éclat. Au microscope ces feuillets sont translucides et ont tous les caractères de la chlorite. La proportion de ce minéral dans la pâte s'élève beaucoup dans les variétés riches en oligoclase et pauvres en quartz; la pâte devient plus sombre, sans perdre son aspect cristallin caractéristique.

La pinite est très abondante dans les variétés riches en quartz; elle apparaît alors en cristaux hexagonaux nets de petites dimensions. Sa présence correspond toujours à une diminution notable du minéral chloritique.

Le grenat se présente au contraire très exceptionnellement dans les variétés riches en quartz, tandis qu'il est extrêmement abondant dans les variétés riches en oligoclase. Il apparaît en dodécaèdres rhomboïdaux peu nets, généralement très fendillés, dont le diamètre atteint 5 millimètres.

Comme minéraux accessoires, je citerai le mica noir et la pyrite de fer. Le mica va avec le minéral chloritique, et paraît être aussi de première consolidation.

Enfin il faut mentionner le graphite qui forme au sein de la roche de nombreux agrégats de lamelles d'un noir brillant. Ces taches noires sur la pâte claire apparaissent surtout dans la variété la plus blanche et la plus acide. Parfois l'abondance du graphite est telle que, sur une assez grande étendue, le porphyre devient presque complètement noir; la pâte est alors schisteuse, très riche en quartz, et la roche prend le nom de schiste graphitique (*Graphitschiefer*). On peut voir un curieux exemple de ces schistes graphitiques sur le flanc droit du Mülhenthal, à côté des dernières maisons d'Elbingerode; ils contiennent en cet endroit de nombreuses taches brunes d'oxyde de fer hydraté.

La présence de ce graphite dans un porphyre d'âge probablement houiller a une extrême importance au point de vue de la géologie générale. En tenant compte du retard dont j'ai parlé plus haut et qui a influencé toutes les éruptions du Hartz, ce fait est assez concordant avec les observations faites jusqu'ici qui attribuent au graphite et au diamant un âge dévonien. L'arrivée de ces matières à l'état d'hydrocarbures ne paraît pas contestable dans le cas qui nous occupe, et il y a là certainement une confirmation de la théorie d'Élie de Beaumont et des inductions curieuses de M. de Chancourtois au sujet de la formation du carbone pur.

Voici, d'après Streng, quelques analyses de ces porphyres.

I. *Grand filon du Mühlenthal comprenant les deux variétés, blanche et sombre.*

	Variété blanche ou acide.	Variété sombre ou basique.
Silice.	68,74	63,78
Alumine.	15,27	16,22
Protoxyde de fer.	4,54	7,21
Protoxyde de manganèse. . .	0,18	traces

	Variété blanche ou acide.	Variété sombre ou basique.
Chaux	1,87	2,82
Magnésie	0,80	1,64
Potasse	4,31	3,31
Soude	1,66	3,23
Eau	1,98	2,49
Acide carbonique	1,15	0

Le rapport de l'oxygène des bases à celui de la silice est de 0,285 pour la variété blanche, 0,362 pour l'autre.

II. *Schistes graphitiques du petit filon du Mühlenthal, près d'Elbingerode.*

Silice	88,32
Alumine	5,87
Protoxyde de fer	1,94
Protoxyde de manganèse	»
Chaux	0,63
Magnésie	0,15
Potasse	1,73
Soude	0
Eau	0,95
Acide carbonique	0
Graphite	3,08

Cette roche tache les doigts et le papier.

Ainsi, les porphyres gris se distinguent des porphyres rouges :

1° Par une moins grande proportion de quartz ;

2° Par la présence d'un minéral chloritique fusible ;

3° Par une teneur beaucoup plus élevée en oligoclase et par conséquent en soude ;

4° Par une cristallinité plus grande de la pâte.

Au point de vue du gisement, ces porphyres se présentent toujours en filons ou dykes verticaux, parfaitement nets, recoupant tous les plis des assises siluriennes ou dévoniennes. Il est donc démontré que ces roches sont postérieures au plissement général du Hartz, c'est-à-dire

postérieures au dépôt de la grauwacke du culm. Elles sont donc probablement houillères ; peut-être même appartiennent-elles aux premiers temps de l'époque permienne. Dans tous les cas, leur composition semble les placer entre les porphyres rouges étudiés précédemment et les aphanites et porphyrites d'Ilfeld.

Le plus beau dyke de porphyre qu'il soit possible de voir au Hartz est celui du Mühlenthal, à 1 kilomètre environ d'Elbingerode, sur la route de Rübeland. Ce filon a 40 mètres de puissance, il tranche nettement le calcaire à stringocéphales, dont les couches ont un pendage sud de 30° environ. Ces couches ne sont nullement redressées au contact du porphyre, et la limite est absolument précise. Quand on regarde, dans la carrière qui exploite le porphyre pour pavés, l'immense front de la roche, on voit sa couleur parfaitement blanche à l'ouest, passer vers l'est au gris bleuâtre presque noir. La dégradation est tellement insensible qu'on pourrait croire, au premier abord, que la roche uniformément mouillée a été séchée par le soleil en commençant au côté ouest. Les deux teintes correspondent aux deux variétés dont j'ai parlé plus haut : en allant du blanc vers le noir, on voit les cristaux d'orthose diminuer de longueur, les grains de quartz devenir plus rares, les lamelles de chlorite se faire à la fois plus petites et plus fréquentes, les taches de graphite disparaître complètement, et enfin les boules de grenat naître de tous côtés au sein de la masse. Tout cela se lit clairement dans la comparaison des deux analyses de la page précédente.

Il y a donc eu commencement de départ, de la magnésie et du fer d'un côté, du quartz et des alcalis de l'autre. Ce départ semble s'être fait horizontalement, car la roche est absolument la même dans une même bande verticale. Mais la cause qui a porté la magnésie du côté est plutôt que de l'autre est absolument mystérieuse ; j'émets sous

toute réserve l'idée d'une attraction moléculaire exercée par l'énorme masse de diabases du Sufferthal, située à une petite distance à l'est. Dans d'autres filons, et notamment au Poppenberg, la roche est uniforme, et sa composition ressemble à peu près à celle que l'on obtiendrait en mélangeant les deux variétés de Mülhenthal, comme elles devaient l'être primitivement.

La direction des filons est toujours très approximativement nord-sud.

Sans aucune action sur les schistes siluriens, les porphyres gris quartzifères ont exercé un métamorphisme remarquable sur le calcaire à stringocéphales. Dans le grand filon du Mühlenthal, le calcaire est simplement rendu cristallin au contact du porphyre acide; mais, au contact du porphyre basique, il est métamorphisé en une dolomie partie cristalline, partie cendreuse. L'épaisseur de cette zone de contact est de 25 à 30 centimètres.

3° *Porphyres noirs ou mélaphyres feldspathiques d'Elbingerode.* — Il convient de ne pas séparer des porphyres gris quartzifères, cette troisième catégorie de porphyres, qui se présentent dans des conditions absolument identiques. La seule différence est qu'ils ne traversent pas le Hartz tout entier, et qu'ils se montrent seulement vers le nord, dans le bassin dévonien d'Elbingerode. Ils se présentent en filons ou dykes dirigés sensiblement nord-sud et recoupant comme les précédents les assises dévoniennes antérieurement plissées. Nulle part un filon de mélaphyre ne coupe un filon de porphyre quartzifère; on ne peut donc établir quel est le plus ancien des deux; mais ils sont incontestablement d'un âge très peu différent.

Ce mélaphyre se compose d'une pâte aphanitique noire, au sein de laquelle nagent des cristaux translucides et incolores, quelquefois blancs grisâtres, de labrador.

La pâte, absolument compacte à la vue simple, se résout à la loupe en un agrégat très fin de cristaux de labrador clair et d'un mica magnésien noir ou vert foncé. Cette pâte est beaucoup moins âpre au toucher que celle des porphyres gris quartzifères; elle est aussi moins dure et possède à peu près la dureté du feldspath.

Les cristaux de labrador sont très nombreux, mais peu nets, offrant rarement des faces ou des arêtes reconnaissables. Au microscope à lumière naturelle, ils présentent alternativement des plages d'un blanc grisâtre et des plages incolores ou quelquefois colorées en noir. Les stries sont irrégulièrement distribuées sur ces différentes plages ; souvent un noyau gris mat non strié est entouré d'un anneau brillant et couvert de stries. Enfin on observe fréquemment que les cristaux sont brisés et qu'ils ont été plus ou moins pénétrés par la pâte.

Accidentellement on rencontre dans la masse de petits cristaux d'un minéral vert noirâtre, peu éclatant. Ce minéral fond très facilement au chalumeau en un verre noir attirable à l'aimant.

Voici la composition moyenne de ces mélaphyres, d'après les travaux de Streng :

Silice	56,51
Alumine	15,35
Sesquioxyde de fer	5,01
Protoxyde de fer	5,39
Protoxyde de manganèse	0,16
Chaux	6,97
Magnésie	4,67
Potasse	2,58
Soude	2,68
Eau	1,25
Acide carbonique	1,16

Le rapport de l'oxygène des bases à celui de la silice est de 0,513.

Dans le Mülhenthal, entre Elbingerode et le grand filon

de porphyre quartzifère, on exploite pour pavés un filon de mélaphyre. Ce filon a 7 mètres environ de puissance. Il est absolument vertical et tranche nettement sans les relever en aucune manière les couches de calcaire à stringocéphales. Sur toute la largeur du dyke, la roche est homogène et d'aspect uniforme. Quant au calcaire, il est métamorphisé des deux côtés du filon, en une dolomie très cristalline; mais je n'ai observé nulle part de dolomie cendreuse. L'épaisseur de la zone de contact atteint 40 centimètres.

La présence d'un peu de carbonate de chaux dans le porphyre, rend assez vraisemblable l'hypothèse d'un métamorphisme par échange mutuel. Malheureusement les filons de mélaphyre n'ont jamais une puissance assez grande pour que l'on puisse observer, à des distances différentes des épontes, des différences notables de composition.

Au sud de la route de Rübeland à Elbingerode, ce même filon de Mühlenthal passe sur une petite longueur à un véritable minerai de fer; l'élément feldspathique a à peu près complètement disparu, et l'élément augitique hydraté par une cause inconnue s'est transformé en quartz et oxyde de fer, comme dans le minerai jaspeux lié au porphyre albitique. Je n'ai malheureusement pas pu voir ce gîte singulier et je me garde de toute réflexion à son sujet.

4° *Porphyre albitique.* — Je ne reviendrai pas sur l'étude des conditions de gisement et d'âge de ce curieux porphyre ; j'ai été obligé de m'étendre longuement sur cette étude au chapitre précédent. Il est bien établi que ce porphyre a pris naissance au milieu de la période dévonienne, à la fin du dépôt des calcaires à stringocéphales ; qu'il s'est épanché et solidifié au fond du bassin d'Elbingerode; qu'il passe en certains endroits à une

roche feldspathique pyritifère, et qu'il supporte presque toujours un minerai jaspeux ; enfin qu'il est recouvert, soit par les schalsteins, soit par le calcaire à rynchonella cuboïdes.

Ainsi, à ne consulter que l'âge, j'aurals dû décrire ce porphyre avant tous les autres, car il leur est incontestablement antérieur. Il représente avec le porphyre vert antique de Rübeland, le facies adélogène dans la première phase éruptive du Hartz, c'est-à-dire dans la phase antérieure au granite.

Ce porphyre n'est connu que d'après les travaux très récents de M. Lossen, travaux postérieurs même à la publication de la carte au $\frac{1}{100000}$. Sur cette carte, en effet, le porphyre albitique est désigné sous le nom absolument impropre, et que rien ne justifie de syenit-porphyr. Il est représenté par des points rouges sur un fond noir.

Comme on peut le constater sur les échantillons que j'ai rapportés, cette roche présente le facies d'un halleflint, dont elle ne se distingue que par la présence, çà et là de petites aiguilles cristallines. Au microscope on aperçoit une foule de très petits cristaux de quartz et *d'albite* nageant dans une pâte grise ou noire, absolument identique à la pâte d'un adinole ; sous la lumière polarisée, cette pâte se résout à son tour en un agrégat micro-cristallin de quartz et d'albite. La roche ne contient pas autre chose, comme minéraux constituants.

La composition moyenne, d'après des analyses faites au laboratoire de l'Académie des mines à Berlin, est la suivante :

Silice.	**78,66**
Acide titanique.	**0,11**
Alumine.	**9,04**
Sesquioxyde de fer.	**2,21**
Protoxyde de fer.	**1,98**
Magnésie.	**0,36**

Chaux	0,30
Soude	5,56
Potasse	0,63
Eau	0,61
Acide carbonique	0,11
Acide sulfurique	0,56
Hydrocarbure	0,08
Acide phosphorique	traces

En négligeant les minéraux accessoires qui sont très rares, on peut considérer la roche comme formée de 46 p. 100 d'albite et 54 p. 100 de quartz.

Dans le Schreckenthal, la composition de la roche est un peu différente, elle contient 85,66 p. 100 de silice, 7,66 d'alumine et 4 de soude : ce qui correspond à peu près à 38 p. 100 d'albite et 62 p. 100 de quartz.

Grâce à sa teneur en soude, la roche est facilement fusible, et donne un verre incolore. Sa dureté est à peu près celle du quartz ; la cassure est généralement esquilleuse.

Vus au microscope, les cristaux d'albite laissent souvent apercevoir les stries sur la base *p*, et sont alors aisément reconnaissables ; mais souvent aussi, ils ne sont striés qu'en partie. La preuve que l'on a dans ce cas, non pas un passage d'orthose à albite, mais bien un cristal d'albite strié en partie, c'est que la partie non striée doit avoir la même extinction. Or c'est ce que l'on constate toujours ; de plus l'abondance des cristaux simples, l'irrégularité très grande dans l'étendue des lamelles, l'aspect particulier des faces de clivage, le ridement parfois visible à l'œil nu de tout le système maclé, la fréquente fracture des lamelles, et la présence très souvent répétée de lamelles maclées dans l'intérieur des cristaux simples, tout cela caractérise l'albite dans toutes les roches où l'existence de ce feldspath a été péremptoirement démontrée, par exemple dans certains gneiss, dans les adinoles, les spilosites et les desmosites.

Le minéral accessoire le plus remarquable que l'on observe dans le porphyre albitique, est le glaucophane, qui s'y rencontre presque toujours, sous forme de lamelles d'un bleu clair, disséminées çà et là dans toute la masse. L'aspect de ce minéral est tout à fait le même que dans les schistes de Syra.

5° *Aphanites et porphyrites de la région d'Ilfeld.* — C'est seulement pour rendre plus homogène et plus complète cette étude sur les porphyres du Hartz que je parlerai de ces roches d'Ilfeld sur lesquelles, depuis bien longtemps, il n'y a plus rien de nouveau à dire. Je me contenterai de résumer brièvement l'ensemble des connaissances relatives à ce sujet.

La région d'Ilfeld est constituée par une alternance de grès et conglomérats permiens et de lits très puissants, mais parfaitement réguliers d'aphanite et de porphyrite.

Au-dessus de la formation houillère que j'ai décrite en quelques mots au chapitre premier, se rencontre une première assise d'argile en plaquettes, d'une couleur qui varie du rouge clair au gris verdâtre. Cette assise repose sur la formation houillère avec une légère discordance de stratification. Au-dessus de cette assise, et formant un épanchement régulier de 50 à 100 mètres de puissance, se présente l'aphanite.

Au point de vue pétrographique, il existe trois variétés bien distinctes d'aphanites : l'une absolument compacte, la seconde présentant dans une pâte compacte de fines aiguilles d'un minéral augitique brillant, la troisième enfin montrant au sein de la masse de véritables amygdales remplies généralement par de la chalcédoine, mais quelquefois aussi par des terres vertes.

Mais ces différences n'existent que dans le facies : ce sont trois manières d'être d'une seule et même roche, et l'hypothèse de plusieurs épanchements successifs n'est

pas justifiée. La loi des passages d'une variété d'aphanite à une autre n'a point encore été trouvée; ces passages se répètent en un très grand nombre de points de la formation; ils sont toujours très lents et comme insensibles.

On connaît depuis longtemps une des cheminées par lesquelles sont arrivées ces aphanites; elle est située dans le Bährethal ou vallée supérieure d'Ilfeld, au pied du Rabenstein. Quand on suit le chemin qui conduit du Netzbrücke à la carrière de Rabenstein, on rencontre, sur le chemin même, ce filon puissant de mélaphyre qui s'enfonce nettement dans le Rothliegende inférieur. L'épaisseur de ce filon est de 40 mètres environ; il est constitué par la variété amygdaloïde.

Au-dessus de ces aphanites s'est déposé le second terme du rothliegende, formé d'une alternance d'argile, de grès et de conglomérats. La présence dans ces conglomérats de galets de la roche aphanitique sous-jacente écarte absolument l'idée d'une intrusion de cette roche à travers les couches permiennes déjà formées. Toutefois ces galets sont assez rares, et la plus grande partie des éléments de ces conglomérats ont été empruntés à la grauwacke d'Elbingerode qui forme le rivage du bassin.

Sur ce rothliegend moyen s'est épanchée la porphyrite qui se présente dans des conditions absolument analogues à celles du mélaphyre. La puissance de l'épanchement est de près de 100 mètres. Le ravinement par les eaux de ce plateau éruptif a donné naissance aux rochers pittoresques du Bährethal. Au pied du Netzberg, on voit un filon ou une cheminée de porphyrite qui tranche nettement les deux premiers termes du rothliegende et le lit d'aphanite intercalé. La porphyrite de ce filon contient de nombreux fragments d'aphanite, ce qui établit, d'une manière péremptoire, l'antériorité de cette dernière roche.

La porphyrite d'Ilfeld a été recouverte elle-même au

moins en partie, par un troisième terme du rotheliegende, principalement formé de tuf porphyrique. Cette circonstance tend à prouver que l'épanchement de cette roche s'est fait d'une manière intermittente, au moins vers la fin de l'éruption; tandis que le mélaphyre paraît s'être épanché d'un seul coup.

Tout autour de cet énorme massif de porphyrite, la grauwacke d'Elbingerode, qui formait les bords du bassin, a été métamorphisée sur une étendue de 1.000 à 1.200 mètres. De compacte et dure qu'elle est habituellement, elle est devenue dans cette zone tendre et friable; sa couleur verte a complètement disparu pour faire place à une teinte rougeâtre plus ou moins accusée : enfin dans certaines parties, elle est traversée en tout sens d'un réseau de veinules d'un véritable porphyre rouge compact, sans cristaux de feldspath, et qui présente la plus grande identité de facies et de composition avec la pâte de la porphyrite. J'ai rapporté un échantillon de cette grauwacke pénétrée par la porphyrite; quelques-unes des fissures sont assez importantes pour que l'on puisse examiner en détail la matière éruptive qui les remplit.

Je n'en dirai pas plus sur les éruptions de la région d'Ilfeld, car, je le répète, toutes ces conditions de gisement et d'âge sont connues depuis longtemps. Que faut-il penser maintenant de ces volcans de mélaphyre, dont parle M. Credner, et qui, tout semblables à nos volcans actuels, auraient couvert de leurs bombes et de leurs lapilli toute la région sud du Hartz, et en particulier le bassin du Mansfeld? Je crois que cette hypothèse hardie est loin d'être suffisamment corroborée par les faits. Rien dans la région d'Ilfeld ne manifeste une terre volcanique; l'éruption des porphyres a été certainement la plus tranquille des éruptions. Supposer *qu'à la même époque des roches absolument identiques à ces porphyres* étaient amenées au jour, à 30 ou 40 kilomètres de là, par

de véritables volcans, c'est au moins téméraire. De plus, c'est parfaitement inutile, car les bombes de mélaphyre de la formation du Mansfeld peuvent très bien n'être que des galets enlevés aux épanchements mélaphyrique du bord sud du Hartz. Jusqu'à preuve absolue du contraire, je me range à cette dernière hypothèse.

Je réserve pour le chapitre du granite l'étude de ces roches curieuses, nommées *porphyroïdes* par les anciens auteurs, et longtemps considérées comme de véritables roches éruptives. Nous verrons que ce sont simplement d'anciens dépôts siluriens métamorphisés par le granite.

CHAPITRE IV

DES GABBROS

Les géologues allemands ont donné le nom de gabbros à une série de roches phanérogènes, de composition minéralogique et chimique très variable, qui forment, sur le flanc ouest du Brocken, entre Altenau et Harzburg, un amas considérable, long de 10 kilomètres et large de 5. Ce nom de gabbros est certainement impropre, car dans son acception lithologique stricte, il s'applique à des roches adélogènes, à labrador et diallage ; ici toutes les roches sont phanérogènes ; les roches à labrador et diallage sont de véritables euphotides ; enfin, comme je le disais en commençant, nous avons affaire, non pas à une seule roche, mais à un très grand nombre de roches, souvent profondément différentes les unes des autres. Pourtant je conserverai ce nom de gabbros parce qu'il est commode, mais il est bien entendu que je ne l'emploierai

que dans un sens tout à fait général, pour désigner toutes les roches de l'amas dont j'ai parlé.

Avant d'étudier les conditions de gisement et d'âge de ces roches, il convient d'en faire une courte description minéralogique.

Pour commencer de suite par les variétés les plus aberrantes, je m'occuperai d'abord des roches désignées par Streng, sous le nom de *Schillerfels*, et qui forment dans la partie supérieure du Radauthal et sur le Radauberg, un amas enclavé de toutes parts dans les gabbros proprement dits. En réalité ces schillerfels ne forment pas une roche réellement distincte des autres gabbros ; ils n'ont pas eu leur éruption spéciale. La différence ne s'étend même pas à la composition chimique ; elle réside uniquement dans le facies. Or les passages sont insensibles de ce facies au facies normal, et les différences sont de plus en plus accusées, à mesure que l'on s'avance vers le centre de l'amas. C'est donc au point de vue minéralogique *seulement* que je fais cette distinction du schillerfels et du gabbro normal. Nous verrons qu'au point de vue géologique il n'y a plus ni schillerfels, ni gabbros, mais une seule et même roche, le granite.

Schillerfels. — On appelle *Schillerfels* un agrégat d'anorthite, d'enstatite (var. protobastite), de diallage, de bastite ou schillerspath et de serpentine plus ou moins chromifère. La proportion de ces divers éléments est absolument variable, au point que l'on rencontre des roches exclusivement formées d'anorthite, et d'autres composées uniquement de serpentine.

La variété composée exclusivement d'anorthite est très rare. L'anorthite y est absolument compacte, semblable à de la saussurite, d'un vert grisâtre ; elle contient fréquemment de petites lamelles verdâtres d'un minéral ser-

pentineux et, çà et là, quelques grains de magnétite ou de fer chromé.

La variété la plus commune renferme à la fois l'enstatite et l'anorthite parfaitement cristallisées. Lorsque l'enstatite prédomine, la roche prend le nom de *protobastitfels*.

Enfin la serpentine apparaît, éparse d'abord dans un mélange cristallin des deux minéraux précédents. Sa présence est toujours accompagnée de bastite plus ou moins abondante, et par le départ des autres éléments la roche passe, soit à un *schillerstein*, soit à une véritable serpentine.

L'anorthite, dans les variétés où elle est bien cristallisée, affecte une forme parfaitement nette ; la section des cristaux est rectangulaire ; le clivage g^1 est très facile, les autres le sont beaucoup moins.

L'enstatite affecte une forme particulière, très voisine de celle de l'augite ; elle est souvent assez difficile à distinguer du diallage (diaklasite de Streng), quoiqu'elle ait généralement moins d'éclat que ce dernier sur ses faces de clivage.

La bastite cristallisée se trouve presque toujours enchâssée dans la serpentine où elle forme des cristaux souvent très volumineux. Elle présente un clivage facile, et un second beaucoup moins net, à 130° sur le premier. Quand elle n'est pas cristallisée, elle forme de petites lamelles très minces, généralement translucides. Sa couleur varie du vert au brun.

Les cristaux comme les lamelles de bastite sont souvent brisés et traversés en tout sens par la pâte serpentineuse.

La serpentine présente une très grande variété d'aspect et de couleur ; dans les fentes de la roche elle est remplacée par une matière fibreuse, analogue à la stéatite, au sein de laquelle on trouve souvent de la pyrite et

de la blende. Fréquemment elle passe au chrysotile ou à une sorte d'asbeste. Les grains de magnétite et de fer chromé y sont très abondants ; leur forme cristalline habituelle est celle de l'octaèdre.

Les analyses suivantes, empruntées à Streng, se rapportent :

La première, à une roche à enstatite du Radauberg (agrégat d'anorthite blanche et d'enstatite vert jaunâtre).

La deuxième, à une roche à anorthite et serpentine de la vallée supérieure de la Radau.

La troisième à une roche du type schillerstein, renfermant peu d'anorthite, mais beaucoup d'enstatite et de bastite, au milieu d'une pâte serpentineuse.

La quatrième, à une serpentine verte, un peu chromifère, sans enstatite ni bastite.

Silice	49,23	42,02	42,36	35,67
Alumine	25,15	13,89	2,18	2,98
Sesquioxyde de chrome	0,03	4,68	13,27	6,91
Sesquioxyde de fer	1,3			
Protoxyde de fer	3,29	3,19	»	4,95
Protoxyde de manganèse	0,34	0.01	0,85	0,11
Chaux	12,57	8,01	0,63	0,18
Magnésie	8,92	20,97	28,90	35,03
Potasse	0,99	0,44	»	0,77
Soude		0,36	»	
Eau	0,64	6,64	12,07	12,07

Les rapports des quantités d'oxygène des bases aux quantités d'oxygène de la silice sont :

0,799	0,891	0,901	1,017

Gabbros proprement dits. — J'arrive maintenant aux gabbros proprement dits, c'est-à-dire aux roches de l'amas considéré qui ne contiennent ni bastite, ni serpentine, et dont tous les minéraux sont anhydres. J'ai dit plus haut que les schillerfels passaient de tous les côtés à ces ro-

ches granitoïdes, par l'élimination progressive de l'élément hydraté, et par l'augmentation des proportions de mica et de diallage. Ces roches ont absolument tous les facies, mais elles renferment toujours comme minéraux constitutifs : le labrador (plus rarement l'anorthite), le diallage, l'augite, l'hypersthène, souvent la hornblende, le mica en plus ou moins grande quantité, et accidentellement le fer titané et le quartz.

Le labrador est généralement bien cristallisé, les sections sont rectangulaires, et se font souvent suivant la face de clivage principal. Les stries sont parfois visibles à l'œil nu ; toujours visibles à la loupe.

Le diallage n'est jamais en cristaux bien nets, mais en lamelles allongées présentant un clivage très prononcé et un éclat perlé, quelquefois soyeux. Le second clivage, perpendiculaire au premier, présente un éclat beaucoup moindre. La couleur varie du gris d'acier au jaune de bronze ; elle est souvent variable sur une même lamelle.

Le pyroxène est très fréquent, cependant il se rencontre surtout dans les gabbros à hornblende. Il a deux clivages faciles, à 90° l'un sur l'autre. Sa couleur est d'un brun clair, allant rarement jusqu'au noir. Il se distingue ainsi aisément de la hornblende dont les cristaux sont toujours noirs et brillants.

L'hypersthène se rencontre dans presque tous les gabbros, où il est mis en évidence au moyen du microscope ; à l'œil nu, il est le plus souvent difficile à reconnaître. Il a deux clivages à angle droit, et présente sur les faces de clivage, des stries fines très régulières. Les cristaux sont peu nets, plutôt allongés en grandes lamelles parfois ondulées ; ils ont un éclat perlé assez semblable à celui du diallage. Leur couleur varie du jaune clair au vert jaunâtre.

Le mica, toujours du type biotite, existe dans tous les gabbros, mais dans certaines roches il prend une pré-

pondérance absolue sur tous les autres éléments magnésiens et remplace presque complètement le diallage.

Le fer titané, très abondant dans certaines variétés, forme des grains de grosseur variable, atteignant quelquefois les dimensions d'un pois.

Le quartz est peu abondant, mais il ne manque presque jamais, quoiqu'il soit souvent difficile à apercevoir à l'œil nu. Il est le plus souvent mal cristallisé, et parfois ne présente aucun indice de cristallisation.

Comme minéraux accessoires jouant souvent un rôle assez considérable dans certaines parties de la masse, il faut citer : l'olivine, qui, dans une partie de la carrière supérieure du Radauthal, arrive à remplacer presque complètement le diallage ; la wollastonite, les pyrites de fer et de cuivre, la pyrrhotine, le mispickel, la rhodonite.

Je n'ai parlé, en fait de feldspath, que du labrador, parce que c'est effectivement le seul que l'on rencontre bien cristallisé et discernable à l'œil nu; mais très souvent il est associé à de l'anorthite, surtout dans les roches où le diallage est peu abondant; souvent aussi à l'oligoclase, qui arrive même à le remplacer complètement dans certaines parties de l'amas, pour former avec le mica une véritable oligoclasite.

Dans les fentes de la roche, on observe communément un remplissage de serpentine exsudé de la paroi. Quelquefois compacte et translucide, cette serpentine est le plus souvent un peu fibreuse, et mélangée à un minéral stéatiteux. Elle renferme de très nombreux sulfures, principalement de la pyrite et de la blende, souvent en beaux cristaux. Au centre de la fente, il est resté généralement un peu de vide, où le quartz est venu cristalliser avec plus ou moins de calcite. Parfois, au contraire, la fente complètement remplie par l'exsudation, présente l'aspect d'un véritable filon de serpentine.

On a souvent regardé comme des filons directement

remplis par des émanations étrangères à la roche, des lits verticaux d'un gneiss albitique qui sont assez fréquents dans la masse de gabbro. Je crois plutôt que ce sont, comme les précédents, de simples fentes où sont venus cristalliser les éléments acides de la roche déjà formée.

Plus rarement, les fissures sont remplies de prehnite jaunâtre ou de stilbite d'un blanc rosé.

En revanche on observe souvent de véritables filons de pegmatite, dont la puissance atteint parfois 1 mètre. Un de ces filons dans la grande carrière du Radauthal, est constitué par une pegmatite graphique à orthose rose et à quartz hyalin, renfermant çà et là de petits agrégats de mica blanc d'argent. L'origine filonienne de cette roche est prouvée par la présence assez fréquente dans son sein de petits fragments de gabbros enlevés à la paroi.

Sur le bord occidental de la formation, quand on suit la route de la Torfhaus à Harzburg, on rencontre au milieu des gabbros plusieurs filons ou amas d'un granite absolument semblable à celui de l'Okerthal, et qui paraît nettement postérieur à la roche magnésienne. Ce granite, qui est par parenthèse une véritable granulite, renferme des boules de gabbro qui semblent avoir été roulées au milieu du magma liquide ; mais de plus on y observe des petites masses radiées, très nombreuses, d'une amphibole verte. Je crois que cette cristallisation d'amphibole au sein d'une roche très acide, est due à l'influence du gabbro environnant, qui aurait ainsi, longtemps après sa consolidation, exercé sur la granulite un métamorphisme par « échange mutuel, » suivant l'expression de M. Delesse. Je reviendrai du reste sur ces filons de granulite, quand je parlerai des conditions de gisement du gabbro.

Il serait absolument inutile de chercher à donner une dénomination lithologique aux innombrables types de roches que l'on rencontre dans cette étrange formation.

Toute classification est impossible. Dans la carrière supérieure du Radauthal, sur un front d'abatage de 50 mètres de longueur, je n'ai pas compté moins de dix variétés absolument différentes, dont les principales sont une *véritable oligoclasite* sans labrador ni diallage, ne renfermant que de l'oligoclase, du mica noir, et un peu de quartz ; une *euphotide* à petits grains, renfermant encore un peu de mica, avec un diallage en courtes lamelles et du labrador probablement mélangé d'oligoclase ; une *euphotide* type, à très grandes parties, où le feldspath coloré en vert paraît n'être que du labrador ; une *roche à olivine* très finement grenue, où, au milieu d'un feldspath vert clair confusément cristallisé, apparaissent de très nombreux grains de péridot qui semblent avoir remplacé complètement le diallage. Dans la grande carrière du Radauthal, à 500 mètres en aval, le facies est plus uniforme. La roche est finement grenue, et ne paraît renfermer que de l'oligoclase, du labrador, du mica et du diallage. A première vue, on dirait d'une oligoclasite ; il faut regarder de fort près pour apercevoir le minéral augitique. Ce facies persiste jusqu'auprès d'Harzburg, et peut par conséquent être considéré comme le facies normal et typique des gabbros du Hartz. Quand on descend dans la vallée de la Radau par la route de la Torfhaus à Harzburg, on rencontre tout d'abord ce même facies qui alterne pendant près de 2 kilomètres avec un facies d'oligoclasite sans diallage ; sur les bords de la formation, cette oligoclasite contient des concrétions curieuses constituées par un agrégat d'orthose d'oligoclase et de quartz, c'est-à-dire par une granulite. Ces concrétions proviennent peut-être de la roche elle-même, peut-être aussi de ce métamorphisme par échange mutuel dont j'ai parlé plus haut et qu'ont exercé l'un sur l'autre le gabbro et le filon de granulite.

Dans la partie supérieure de son cours, la Radau roule

des blocs d'un euphotide superbe, dont le facies ne se rencontre pas dans les carrières. Les cristaux de diallage ont jusqu'à 5 centimètres de longueur ; en revanche l'hypersthène est très rare et ne peut se constater qu'au microscope. Enfin quand on quitte la Radau et qu'on s'élève sur la rive gauche dans les bois du Radauberg, on voit peu à peu l'enstatite apparaître en même temps que la serpentine, et l'on passe dans la région des schillerfels.

Malgré cette étonnante diversité d'aspect, il est reremarquable que la composition des gabbros reste à peu près la même. Pour avoir une différence très sensible, on est obligé de prendre les deux termes absolument extrêmes de la série : l'oligoclasite et la serpentine. Cette uniformité de composition jointe à la manière graduelle et presque insensible dont se font les passages entre les divers types, prouve bien que nous n'avons sous les yeux qu'une seule et même roche au point de vue géologique, et que les différences minéralogiques tiennent à des causes purement accidentelles.

Des quatre analyses qui suivent et que j'ai empruntées comme les précédentes à Streng, la première se rapporte à un gabbro du bord sud (route d'Harzburg à Torfhaus), renfermant du labrador blanc brillant, du diallage et du mica, probablement aussi de l'oligoclase ;

La deuxième, à un gabbro de l'Eckerthal avec augite, hornblende et fer titané ;

La troisième, à un gabbro sans diallage ni hornblende, renfermant beaucoup d'hypersthène ;

La quatrième enfin, au gabbro type des grandes carrières du Radauthal, renfermant, avec du labrador et du diallage, du mica, de l'hypersthène et de l'augite :

Silice.	53,65	48,19	50,09	49,63
Alumine.	20,77	16,67	17,84	16,18
Sesquioxyde de fer.	0,90	2,74	2,03	2,20
Protoxyde de fer.	7,61	10,05	7,54	12,03

Chaux	9,16	10,21	13,12	9,33
Magnésie	1,57	7,62	8,28	5,38
Potasse	1,61	0,34	0,83	0,81
Soude	3,33	3,32	1,39	1,89
Eau	1,33	1,05	0,78	0,55
Acide titanique	»	1,12	»	»
Acide phosphorique	»	0,53	»	0,44

Les rapports des quantités d'oxygène des bases aux quantités d'oxygène des acides sont :

0,550	0,71	0,73	0,637

Conditions de gisement. Identité géologique du gabbro et du granite. — Je passe à l'étude des conditions de gisement de toutes ces roches, considérées comme constituant une seule et même éruption magnésienne. On verra que cette éruption n'est elle-même qu'un phénomène local et secondaire dans la grande venue des granites.

Les gabbros s'appuient sur le granite du Brocken en deux points, l'un au sud près des sources de la Radau, l'autre au nord-est près du Kaltethalskopf. En ces deux points, le *granite passe au gabbro d'une manière insensible*, par une substitution graduellement croissante du diallage au mica et du labrador à l'oligoclase ; longtemps avant d'arriver à la limite, on observe que le granite est relativement basique, et contient peu de quartz et peu d'orthose : ce n'est qu'à 2 ou 3 kilomètres de la roche magnésienne, près de la Torfhaus, par exemple, que le granite présente le facies type du Brocken, qui est à peu près un facies de granulite. Au Kaltethalskopf, le phénomène est rendu beaucoup plus sensible par la présence au sein du gabbro, d'une grande et puissante apophyse de granite, sur les bords de laquelle on observe la même série de passages entre les roches.

Ainsi, il semble que sur sa bordure occidentale, par

suite d'une concentration très grande de la matière magnésienne, le granite ait perdu peu à peu son acidité normale, ait passé d'abord à une oligoclasite sans quartz, puis à une roche complexe contenant simultanément le mica et le diallage, puis enfin à une roche de diallage et de labrador, de facies variable, c'est-à-dire au gabbro. J'ai dit plus haut que sur la route de la Torfhaus à Harzburg, on rencontre pendant 15 à 1.800 mètres une véritable alternance d'oligoclasite et de gabbro finement grenu, comme si dans cette région la teneur en magnésie n'était pas encore assez grande pour donner naissance à une roche continue à diallage.

Un peu plus loin, sur la même route, le gabbro disparaît et l'on retrouve la grauwacke du culm ; 500 mètres plus loin, le granite reparaît. C'est le filon dont j'ai parlé plus haut, constitué par une granulite remplie de concrétion d'amphibole. Longtemps présenté comme une apophyse du granite du Brocken, ce filon est aujourd'hui considéré, ainsi que je l'ai dit plus haut, comme nettement postérieur au gabbro. Je le mentionne ici, comme un exemple remarquable de métamorphisme par échange mutuel, entre une roche magnésienne et une roche acide.

Le gabbro a exercé sur les sédiments qui l'entourent un autre métamorphisme tout à fait identique au métamorphisme dont le granite a été la cause et que nous étudierons au chapitre suivant.

A l'ouest, le terrain encaissant est formé de grauwacke du culm ; c'est la grande zone de grauwacke comprise entre la bande de diabase et le quartzite du Bruchberg. Sur une étendue de 3 à 4 kilomètres autour de l'amas des gabbros, la grauwacke est profondément modifiée. Sa dureté est devenue beaucoup plus grande ; à côté des grains de quartz roulés qui la constituaient primitivement, se sont formés des cristaux de quartz hyalin qui donnent parfois à la roche l'aspect d'une elvan. A l'air,

elle ne se décompose pas comme la grauwacke normale, et ne prend jamais l'aspect terreux qui caractérise les surfaces libres de cette dernière roche. Enfin cette grauwacke est massive, sa cassure est irrégulière ou conchoïdale, mais non polyédrique. Cette modification de la grauwacke va d'ailleurs en augmentant à mesure que l'on se rapproche du gabbro, et elle disparaît insensiblement du côté de la roche non modifiée. Tout autour du filon de granulite, et, au nord, dans la région de métamorphisme du granite de l'Okerthal, l'aspect de la grauwacke est le même qu'au contact immédiat du gabbro. Quant à la composition, elle paraît légèrement modifiée; la teneur en silice est un peu plus forte et la teneur en magnésie moindre. Du reste ces différences sont très petites et d'ailleurs variables; on ne peut en tirer à mon avis aucune conclusion importante sur le mode de métamorphisme.

En quelques points du bord occidental de la formation, la grauwacke modifiée est remplacée par une roche absolument compacte, noire, à cassure irrégulière, pareille aux hornfels du bord sud du granite. Ces roches, dont la teneur en silice s'élève à 80 p. 100, résultent probablement de la transformation des schistes à posidonies.

On retrouve en effet ces hornfels de l'autre côté de l'amas des gabbros ; ils forment une espèce de bassin entouré de toutes parts par les roches éruptives, gabbro ou granite, et il paraît hors de doute que cette formation schisto-siliceuse est un lambeau de l'ancienne formation à posidonies, soulevé par l'éruption du Brocken. Un fait bien remarquable et qui vient en appui à ce que je disais tout à l'heure, c'est que ces hornfels ont une composition très uniforme tout le long de la ligne de contact, près du granite comme près du gabbro. La teneur en silice diminue au contraire quand on va de la ligne de contact vers le centre du bassin.

Au nord de l'amas, près d'Harzburg, le gabbro se trouve en contact, d'une part avec la grauwacke du culm qui a subi le même métamorphisme qu'au bord occidental, de l'autre avec l'énorme amas de diabases dévoniennes qui termine la grande zone des diabases. Ces roches, presque exclusivement des schalsteins et des mandelsteins, sont simplement encollées et un peu silicifiées au contact du gabbro. L'influence des granulites de l'Okerthal, à l'ouest des diabases, a d'ailleurs été la même.

Il résulte de ces deux faits, passage insensible du granite au gabbro, et identité du métamorphisme exercé par les deux roches que le *gabbro n'est qu'un facies local et accidentel* du granite. Pour une cause encore inconnue, il y a eu, au moment de l'apparition de cette roche, une concentration vers l'ouest, de la matière magnésienne si abondamment répandue dans toutes les émanations du Hartz. Nous verrons que malgré ce départ, la richesse en magnésie du granite du Brocken est encore assez grande, et se manifeste par une grande abondance du mica dans la roche. Jamais, sans cette évacuation de la magnésie du côté de l'ouest, il n'aurait pu se former un véritable granite, mais tout au plus une oligoclasite sans quartz.

Roches augitiques du bord est. — On peut se demander maintenant pourquoi le départ de la magnésie a eu lieu vers l'ouest, et non tout autour du massif granitique. Pendant longtemps, en effet, on a cru que les roches augitiques et amphiboliques de la région est étaient indépendantes du granite et avaient leur origine et leur date d'éruption à elles. Il est prouvé aujourd'hui, par les recherches de M. Lossen, que ces roches, comme les gabbros, passent au granite par des transitions insensibles, et jouent, par conséquent, sur ce bord oriental, le

rôle du gabbro sur le bord occidental. De plus, une étude attentive de la zone limite du massif du Brocken a démontré l'existence de roches analogues, *tout autour* de ce massif.

Étudions rapidement cette série de roches magnésiennes, dont les types les plus anciennement connus sont ceux du Wormkethal, près de Schiercke, et de l'Holzemmethal, près d'Hasserode.

Ces roches forment une série très complète qui conduit du véritable granite au gabbro normal, et dont les termes principaux sont :

Granite amphibolique à hornblende et biotite ;
Granite amphibolique à augite ;
Diorite quartzifère ;
Diorite quartzifère et augitique ;
Diorite augitique ;
Gabbro à quartz, biotite, amphibole et augite ;
Gabbro normal.

Le type le plus acide de la série, est le granite amphibolique du Dumkuhlenthal, qui passe à une diorite un peu augitique, dont la teneur en silice atteint 73 p. 100. La composition de ces roches diffère peu de celle du granite normal. Dans la même région, des apophyses granitiques qui pénètrent dans la formation silurienne sont formées de micro-granulite (sorte d'elvan) contenant un peu d'augite.

Au Steiler-Stieg, près du Bruchberg, au sud-ouest du Brocken, on rencontre une diorite sans quartz, dont la teneur en silice n'est plus que de 47 p. 100 ; cette diorite est aphanitique et ne se résout qu'au microscope en hornblende, labrador et pyrite.

Mais la roche la plus fréquente est une diorite quartzifère à 64 p. 100 de silice, qui apparaît dans le Dumkuhlenthal. Cette roche contient de l'augite avec du

mica et de l'amphibole, et passe, par diminution du quartz, à la diorite augitique du Hohnekopf (50 p. 100 SiO^2). Sans le microscope, il est difficile de distinguer, dans ces diorites, l'hornblende de l'augite ; souvent l'augite est englobé dans la hornblende ; parfois aussi apparaît un peu de diallage, mais toujours en petite quantité.

Au microscope, cette roche est absolument identique au gabbro sans diallage, sans labrador, sans pyrite et sans apatite, et doit, par conséquent, être considérée comme le véritable type de passage. La composition est également identique, comme le prouve l'analyse suivante :

Silice	53,39
Acide titanique	1,39
Alumine	12,18
Sesquioxyde de fer	6,18
Protoxyde de fer	6,70
Magnésie	6,17
Chaux	6,80
Soude	2,73
Potasse	1,76
Eau	2,09
Acide phosphorique	0,25
Acide carbonique	0,28
Acide sulfurique	0,24

Cette analyse concorde avec celle que j'ai donnée plus haut d'un gabbro de la route de la Torfhaus à Harzburg ; mais le feldspath est plus acide. La haute teneur en Fe^2O^3 et KO provient de l'abondance du mica.

Comme autre terme de passage, il faut citer le granite du Meineckenberg qui contient, avec le mica noir, de petits prismes d'augite, d'un éclat bronzé. L'amphibole manque, et la roche ressemble à un gabbro du Radauthal qui renferme, avec l'orthose, de nombreux prismes d'augite et de petits cristaux de sphène, sans biotite ni hornblende.

Le zircon, qui se trouve accidentellement dans certains

gabbros, manque rarement dans toutes ces roches magnésiennes de l'est et du sud.

Près de Blankenburg, à Michaelstein, la série magnésienne est représentée par une kersantite normale, très riche en grenat, sillimanite, rutile et zircon. Le feldspath est un peu vitreux et ressemble parfois à la sanidine.

Au sud, au Sonneberg et au Rehberg, les roches magnésiennes manquent, mais sur presque toute la lisière du granite, ce dernier renferme *en grande abondance du fer oligiste*. Sur une épaisseur de 2 à 3 kilomètres, la roche est fortement colorée en rouge. Le fer oligiste est rarement cristallisé ; il arrive, près de la Sonneberger-Haus à constituer les 2/3 de la roche, qui est alors un véritable minerai. Le fer a donc, dans cette région, remplacé la magnésie.

Ainsi, tout autour de l'énorme massif granitique du Brocken, règne comme un anneau de roches magnésiennes ou ferreuses, qui doivent être considérées comme des roches de départ, dérivées du granite au moment même de sa formation.

Pourquoi, maintenant, cet anneau est-il considérablement dilaté du côté de l'ouest ? On ne le saura jamais d'une façon certaine, mais peut-être faut-il voir là un phénomène d'attraction moléculaire exercé par l'énorme masse des diabases d'Harzburg. Du côté de l'est, près des diabases d'Elbingerode, l'anneau est également dilaté, quoique d'une manière moins sensible. Il y a certainement de curieuses études à faire, à l'avenir, sur ce métamorphisme à distance.

M. Lossen explique la formation de l'amas des gabbros à l'ouest, et de l'amas des roches augitiques à l'est, par le second soulèvement, dirigé S.E.-N.W., du massif du Brocken (Voir plus loin), soulèvement qui aurait ramené à la surface les roches magnésiennes du fond.

CHAPITRE V

DES GRANITES

Le granite forme, dans le Hartz, trois massifs distincts, séparés par des dépressions profondes : le Ramberg, le Brocken et le massif de l'Okerthal. Ce dernier est beaucoup moins important que les deux autres et n'a joué dans le soulèvement du Hartz qu'un rôle secondaire.

Le Ramberg et le Brocken forment l'un et l'autre des massifs grossièrement elliptiques, dont les grands axes sont rectangulaires entre eux; celui du Brocken étant dirigé S.W.-N.E., et celui du Ramberg N.W.-S.E. Ils sont entourés de toutes parts par les formations sédimentaires, siluriennes et carbonifères, au milieu desquelles ils projettent quelques apophyses filoniennes. Nous verrons plus loin que ces apophyses sont constituées par des roches analogues au granite comme composition chimique, mais d'aspect différent. Quant au massif de l'Okerthal, il est de forme circulaire, et semble se rattacher souterrainement au Brocken par un grand nombre de filons qui, contrairement aux apophyses des deux premiers massifs, sont remplis par la roche elle-même.

Autour de ces massifs, et sur une étendue variable pouvant aller à 4 ou 5 kilomètres, les sédiments sont profondément modifiés par la roche éruptive, et constituent un anneau de roches métamorphiques, hornfels ou fleckschiefer, que nous étudierons un peu plus loin. Dans l'intérieur même du massif du Brocken, on rencontre çà et là quelques lambeaux de schistes ou de quartzites, emportés par l'éruption, et que les eaux ont respectés. Ces lambeaux ont subi le même métamorphisme que la zone environnante. Il ne s'en trouve pas

dans le Ramberg, et les contours de ce dernier massif sont beaucoup plus nets que ceux du Brocken. Dans l'Okerthal, au contraire, ces portions de terrains sédimentaires éparses au milieu des granites, sont extrêmement fréquentes, et les contours du massif sont déchiquetés à l'infini.

J'examinerai d'abord le granite au point de vue minéralogique et chimique, en m'en tenant exclusivement au granite proprement dit, c'est-à-dire à celui qui constitue l'intérieur des massifs, et sans m'occuper de l'amas de roches magnésiennes des bords du Brocken et des apophyses à roches porphyroïdes.

Granite du Brocken. — Le granite type du Brocken est caractérisé par sa grande richesse en orthose, sa faible teneur en oligoclase, la présence d'une très grande quantité de mica noir, l'absence totale de mica blanc, et la manière d'être du quartz qui n'est jamais *enveloppant*, mais en petits grains épars dans toute la masse.

Rose a donné à ce granite le nom de granitite à cause de l'existence exclusive du mica noir comme élément magnésien. Cette même raison m'empêche de désigner la roche sous le nom de granulite, qu'elle mériterait, d'ailleurs, d'après l'état de son quartz, et sa composition chimique. Je continuerai donc à l'appeler granite comme le font encore tous les géologues du Hartz.

L'orthose est blanc ou rose, généralement en grands cristaux souvent maclés suivant la loi de Carlsbad. L'oligoclase, blanc ou légèrement coloré en vert, est presque toujours strié ; il manque rarement, mais est toujours en petite quantité. Les feuillets de mica sont d'un noir brillant, très petits et disséminés dans toute la masse d'une façon assez uniforme, souvent au point de n'être plus visibles. Les grains de quartz sont de petite dimension ; leur diamètre n'excède presque jamais 1 mil-

limètre ; leur couleur varie du gris enfumé au violet pâle ; ils ne présentent pas d'indices de cristallisation.

Au Rehberg au nord de Saint-Andreasberg, les cristaux d'orthose qui ont jusqu'à 4 centimètres de longueur sont d'un rouge chair magnifique ; mais cette roche ne saurait être prise pour type ; sa teneur en fer est un peu trop élevée, ce qui tient au voisinage immédiat du bord sud (Voir plus haut).

Au Gruhebeck, près de l'Ilsethal, le facies est également un peu aberrant ; la roche est plus belle qu'en aucun autre lieu du Hartz. L'orthose est rouge clair, l'oligorase, vert, et le quartz, violet; le mica noir est beaucoup moins abondant que dans le type normal ; enfin la tourmaline est très fréquente.

Ce dernier minéral n'est jamais complètement absent dans les granites du Brocken. C'est là un caractère de plus qui rattache ces roches aux véritables granulites.

Comme minéraux accessoires, je citerai : le fer oligiste, rare dans l'intérieur du massif, très abondant, au contraire, sur le bord sud ; le fer oxydulé, l'épidote, l'apatite, le grenat, la prehnite. Les minéraux pyroxéniques et amphiboliques qui acquièrent un si grand développement dans les roches des bords de la formation, paraissent manquer absolument au granite normal.

Voici, d'après Fuchs (*N. Jahrbuch*, 1862), les analyses du granite normal, et du granite légèrement différent du Rehberg :

	Type normal.	Rehberg.
Silice	73,71	75,06
Alumine	13,46	13,00
Sesquioxyde de fer	2,20	3,54
Chaux	1,15	0,88
Magnesie	1,93	0,01
Potasse	4,59	4,16
Soude	2,60	3,06
Eau	1,12	1,06

La densité du granite normal est 2,62.

Granite de l'Okerthal. — Le granite de l'Okerthal est remarquable par la grande uniformité de son facies ; la roche est toujours la même, qu'on la prenne au centre du massif, ou à l'extrémité des filons qui en divergent. Les filons qui avoisinent et ceux même qui traversent l'amas des gabbros paraissent renfermer un granite identique.

L'élément dominant est un orthose d'un blanc laiteux à cristallisation enchevêtrée et confuse ; cet orthose renferme des grains d'un quartz gris noirâtre, non cristallisé, et quelques cristaux un peu décomposés d'un feldspath vert clair partiellement strié qui est probablement de l'oligoclase. Quant au mica noir, il est en feuillets plus grands que dans le granite du Brocken, et surtout plus rassemblés. Le mica blanc manque complètement ; la tourmaline est très abondante quoiqu'elle soit très rarement visible à l'œil nu.

A mon avis, cette roche mérite beaucoup mieux que la première le nom de granulite ; nous verrons d'ailleurs que, d'après les conditions de gisement, on a tout lieu de la considérer comme postérieure.

Voici l'analyse d'un échantillon provenant du Ziegenrücken (*) :

Silice	75,46
Alumine	11,89
Protoxyde de fer	3,52
Chaux	1,25
Magnésie	0,08
Potasse	4,40
Soude	2,56
Eau	1,12

(*) Fuchs, *loc. cit.*

Granite du Ramberg. — Le granite du Ramberg est également une véritable granulite bien caractérisée. Il renferme très peu de mica noir, et se compose presque exclusivement d'orthose et de quartz ; ce dernier est en grains comme dans les roches précédentes, et ne présente pas d'indices de cristallisation. L'oligoclase est peu abondant, mais se rencontre assez fréquemment. A Friedrichsbrunn, il n'y a plus que de l'orthose et du quartz ; d'après la composition, la roche est une pegmatite, mais le quartz est toujours amorphe et, pour cette raison, il vaut mieux conserver le nom de granulite.

A l'exception de ce facies un peu aberrant, la composition de la granulite du Ramberg est très constante, et se rapproche de la suivante (échantillon de l'Hexetanzplatz) :

Silice	76,81
Alumine	10,95
Protoxyde de fer	2,19
Chaux	0,83
Magnésie	0,02
Potasse	5,26
Soude	3,10
Eau	0,85

Le rapport de la quantité d'oxygène des bases à la quantité d'oxygène de la silice est de 0,185. La roche du Ramberg est la plus acide du Hartz.

J'arrive maintenant à l'étude des apophyses granitiques dont j'ai parlé, et qui semblent établir une liaison entre les deux massifs du Brocken et du Ramberg. Je commence par l'apophyse qui se détache du Ramberg, au bord nord-ouest de ce massif, et qui porte aujourd'hui le nom de filon de la Bode, d'après M. Lossen.

Apophyse granitique du Ramberg ou filon de la Bode. — Depuis longtemps on avait constaté, près de Lud-

wigshütte et d'Altenbraak, l'existence de roches présentant à un haut degré le facies porphyrique, roches que Streng avait décrites sous le nom de porphyres quartzifères. Zincken, le premier, distingua ces roches des porphyres types du Hartz, et émit l'hypothèse de leur rattachement au granite. Enfin M. Lossen découvrit, en 1873, l'identité des porphyres des Gewitter-Klippen et d'Altenbraak, leur mode de gisement filonien, et, finalement, leur passage à la roche du Ramberg.

Il est aujourd'hui bien établi, d'après les travaux de ce savant, qu'un étroit faisceau de filons se détache du Ramberg, au bord nord-ouest de ce massif; ce faisceau a une largeur moyenne de 40 à 50 mètres. Si l'on réunit le point extrême, à l'ouest, au point de départ, on obtient une ligne longue de 8 kilomètres, dirigée $7^h,1/4$, du côté du Brocken. C'est à peu près la longueur du grand axe du Brocken, et le tiers de la distance qui sépare les deux massifs. Cette grande apophyse indique évidemment une relation souterraine entre le granite du Brocken et celui du Ramberg, car d'autres apophyses, dont je parlerai un peu plus loin, se détachent du Brocken, à peu près dans le prolongement du filon de la Bode, et vont à la rencontre de ce dernier.

Le faisceau de filons ou le filon de la Bode, coupe cette rivière en sept endroits, près des Blaue-Klippen. Il n'est pas rectiligne, mais forme une ligne brisée en ∽. Altenbraak marque le point où le faisceau s'écarte le plus de la direction moyenne.

Quant à la roche qui constitue cette curieuse apophyse, elle a un facies un peu variable, mais nulle part, sauf en un seul point, elle n'a une structure phanérogène. Une pâte parfois cristalline, parfois compacte, enveloppe des cristaux de première solidification. En d'autres termes, le même magma qui, dans le centre du massif, a cristallisé en une granulite normale, a donné

ici, sous l'influence réfrigérante des parois, un porphyre type ou un porphyre granitoïde.

Mais à côté des porphyres normaux et des porphyres granitoïdes, on rencontre souvent, dans le filon de la Bode, des roches beaucoup moins bien définies et qui font le passage du granite au porphyre. Tels sont des weisstein à grain très fin, presque compact, qui ressemblent à certaines leptynites sans grenat ; tels sont des porphyres à éléments orientés dans une certaine direction et dont la pâte est un peu schisteuse ; tels sont, enfin, des porphyres très riches en mica, présentant parfois l'apparence d'une minette, et que l'on a désignés, bien à tort, sous le nom de *glimmersyenitporphyr*.

Au point de départ du faisceau, à l'endroit où il se détache du massif de granulite, il est constitué par une leptynite blanche, à pâte presque compacte, renfermant des taches d'un gris rougeâtre. Le quartz y apparaît en petits grains, de couleur grise, à éclats gras et à cassure conchoïdale, à côté de petites feuilles de mica et de mouches de pyrite. Le centre des taches est toujours formé d'un grain de quartz microscopique, et les taches elles-mêmes sont plus riches en mica que le reste de la masse. En cet endroit même, le filon de leptynite projette dans les hornfels de petites apophyses de 5 à 10 centimètres de largeur, où l'on observe une *véritable granulite*. Il y a donc passage graduel et insensible de la granulite à la leptynite, et ces deux roches n'en font qu'une.

Un peu plus loin, la leptynite passe à un porphyre granitoïde bien caractérisé, où les grains de quartz sont cristallisés et présentent, à l'œil nu, leur double pyramide. C'est comme une annonce de l'apparition des porphyres quartzifères.

En effet, à 1 kilomètre plus à l'ouest, à l'endroit où le filon rencontre pour la première fois la Bode, il présente un aspect singulier ; au centre, il est constitué par le

même porphyre granitoïde, mais sur les bords il est formé d'un porphyre quartzifère. Le premier renferme dans une pâte cristalline, des grains de quartz, des feuilles de mica tombac, et de petits cristaux d'un feldspath gris verdâtre ; le second renferme dans une pâte aphanitique violette, à éclat gras, de petits cristaux de quartz : c'est presque un elvan. Il y a, bien entendu, passage insensible du porphyre quartzifère au porphyre granitoïde.

Un peu plus haut dans la vallée, un autre filon traverse la Bode; la roche qu'il renferme est plus siliceuse et moins micacée, mais présente néanmoins le même phénomène. Le centre du filon est formé de porphyre granitoïde; les salbandes sont constituées par un porphyre à pâte encore beaucoup plus compacte que dans le cas précédent, renfermant avec de nombreux cristaux de quartz bipyramidé, des cristaux d'orthose blanc à macle de Carlsbad. Ces derniers cristaux sont orientés d'une manière sensible parallèlement aux épontes.

En face de ce point, sur les flancs des Blaue-Klippen, *on retrouve une granulite à grandes parties*, qui remplit *tout* le filon, fort large en cet endroit, mais qui passe bientôt, et d'une manière insensible, à un porphyre granitoïde à grands cristaux de feldspath puis à un porphyre quartzifère semblable à celui dont je viens de parler.

Sur le haut plateau qui s'étend entre les Gewitter-Klippen et Altenbraak, on trouve deux sortes de roches, un porphyre absolument aphanitique où les grains de quartz ne sont visibles qu'au microscope, et un porphyre granitoïde; il y a une véritable alternance entre ces deux termes. Nous arrivons enfin au porphyre de Ludwigshütte et d'Altenbraak décrits depuis si longtemps comme porphyres quartzifères ; ces roches renferment encore des plages à facies granitoïde, et il y a toujours une assez grande différence de facies entre la partie moyenne du filon et les salbandes.

Il résulte de cet examen rapide du filon de la Bode :

1° Que la structure granitoïde reparaît plusieurs fois, soit dans une véritable granulite, comme aux Blaue-Klippen, soit, le plus souvent, dans un porphyre granitoïde ;

2° Que l'allure porphyrique prend de plus en plus le dessus à mesure que l'on s'éloigne du Ramberg ;

3° Que, dans un même point, le facies porphyrique est d'autant plus prononcé que l'on se rapproche plus des épontes.

L'influence refroidissante des épontes paraît être la cause principale de ces étranges phénomènes ; mais quoi qu'il en soit, il y a là un fait d'une portée incalculable pour la géologie générale, la *production simultanée dans le temps et presque dans l'espace* des roches du type granite et des roches du type porphyre, le passage répété de ces roches les unes aux autres, leur identité enfin au point de vue géologique.

Quelles sont, en effet, à ce point de vue, les grandes différences entre les granites et les porphyres ? Elles sont au nombre de trois : 1° Les porphyres ont donné des tufs, tandis qu'on ne connaît pas un seul tuf de granite ; 2° les granites exercent toujours sur la roche encaissante un métamorphisme de contact ; les porphyres qui sont des granites éventés, selon l'expression de M. de Chancourtois, n'en donnent jamais ; 3° les roches granitiques ont une grande tendance à orienter leurs éléments et à prendre un facies gneissique ; cette tendance ne s'observe pas dans les porphyres.

Or les porphyres du filon de la Bode, qui sont de véritables porphyres au point de vue lithologique, ont, à un haut degré, les trois caractères du granite ; ils n'ont pas formé de tufs ; ils ont exercés sur les sédiments le même métamorphisme que la granulite du Ramberg ; enfin ils présentent déjà à l'œil nu, mais sur-

tout au microscope, une tendance d'orientation très marquée, allant quelquefois jusqu'à une texture finement schisteuse. Je le répète : au point de vue géologique, ce sont de véritables granites.

Ce fait n'est pas isolé dans l'état actuel de la science, Le filon de la Case de Brousette, dans les Pyrénées, offre également l'exemple d'un porphyre quartzifère passant à un granite dans l'espace de quelques mètres. La pâte de ce porphyre est amorphe, presque vitreuse ; elle pénètre en maint endroit, dans les cristaux de quartz. M. Lossen m'a également parlé d'un filon de Drammen (Norwège) qui présenterait le même phénomène.

Mais si l'on observe au microscope le porphyre quartzifère des salbandes, dont j'ai parlé tout à l'heure, un fait plus curieux encore est mis en lumière : c'est la présence dans la pâte d'*une matière vitreuse*, absolument analogue à la matière vitreuse des pâtes de pechstein et d'obsidienne. Cette matière vitreuse entoure, sous forme d'anneaux plus ou moins larges des plages d'une pâte cristalline composée d'un agrégat d'orthose, quartz et mica, agrégat qui présente souvent la texture fluidale. Les cristaux de quartz renferment fréquemment des inclusions liquides où l'on observe toujours un libelle.

Le porphyre granitoïde ne présente, au contraire, aucun élément vitreux.

Ainsi, il y a non seulement passage de la granulite au porphyre quartzifère, mais aussi du porphyre quartzifère à une roche de la série vitreuse. Comme le dit M. Lossen, ce n'est pas tant par la différence du magma éruptif que le granite se sépare de la lave obsidiénique, que par la différence des conditions secondaires de refroidissement et de solidification. Le même magma qui a donné la granulite du Ramberg, les leptynites, les porphyres granitoïdes et quartzifères du filon de la Bode, était apte, vraisemblablement, à donner de

véritables pechsteins, si les conditions extérieures s'y étaient prêtées.

Il est inutile de rappeler ici que M. Michel Lévy, dans son magnifique travail sur les relations entre la composition minéralogique des roches et leur âge, signale ce passage du type granitique au type vitreux comme s'annonçant déjà à l'époque houillère, et se parachevant à l'époque triasique. Je reviendrai sur cette découverte dans quelques instants.

Pour terminer ce qui est relatif au filon de la Bode, je transcris les analyses publiées par M. Lossen (*Zeitschrift der deutschen geol. Gesellschaft*, 1874).

	P. granitoïde du centre du filon.	P. quartzifère et vitreux des salbandes.	P. de Ludwigshütte au centre du filon.
Silice.	72,20	70,40	73,29
Acide titanique.	0,11	0,28	»
Alumine.	15,04	15.29	15,81
Sesquioxyde de fer. . .	0,64	0,09	»
Protoxyde de fer. . . .	1,28	1,69	1,56
Magnésie.	0,59	0,58	0,07
Chaux.	1,59	1,62	0,75
Soude.	1,02	4,09	3,82
Potasse.	4,95	3,89	3,76
Eau.	2,18	1,13	0,89
Acide phosphorique. . .	0,19	0,22	»
Pyrite.	0,13	0,23	»

Ces analyses doivent être rapprochées de celle de la granulite du Ramberg (Voir plus haut). On peut remarquer que la soude prédomine au centre des filons, tandis que la potasse prédomine dans les roches des salbandes.

L'existence de ce filon de la Bode permet d'expliquer sans peine *le métamorphisme régional*, observé par M. Lossen dans toute la région de la Bode, en dehors du cercle de *métamorphisme de contact* du granite du Ramberg. Les quartzites sont plus riches en quartz ; les

porphyroïdes, ces curieuses roches dont je parlerai bientôt, sont plus abondantes. Cela provient sans doute de la présence dans le sous-sol de la région, à une faible profondeur, d'une masse énorme de granite, dont le filon de la Bode ne serait que le témoin.

Apophyses granitiques du Brocken. — Le massif du Brocken projette à son tour, dans les environs d'Hasserode, une série d'apophyses qui vont à la rencontre du filon de la Bode. Streng avait décrit les roches qui constituent ces apophyses, sous le nom de porphyres quartzifères d'Hasserode, et les avait identifiées avec les roches de l'Auerberg et du Ravenskopf. Mais, ainsi que l'a montré M. Lossen, jamais ces filons ne se prolongent dans l'intérieur du massif granitique; ils s'arrêtent soit à une petite distance, soit à la limite même du granite ; parfois aussi ils courent parallèlement à cette limite, sur une certaine longueur. De plus on trouve dans ces filons, et en très grande abondance, la tourmaline qui caractérise le granite du Brocken; enfin, on y observe le même feldspath, rouge ou vert, le même quartz gris ou violet, le même mica d'un noir brillant, que nous avons reconnus dans le granite. De tout cela résulte, d'une façon certaine, la relation étroite qui unit ces filons au massif granitique : comme le filon de la Bode, ce sont des apophyses du granite du Brocken, des témoins de cette grande masse éruptive qui relie le Brocken au Ramberg, et qui se manifeste par le métamorphisme régional dont j'ai déjà parlé.

Ces porphyres sont constitués par une pâte brune presque compacte, où nagent des grains de quartz arrondis, présentant rarement des indices de cristallinité, et des cristaux de feldspath dont les arêtes sont usées. Quelquefois les grains de quartz, au lieu d'être sphériques, sont cylindriques; on constate alors que le

quartz, comme le feldspath, est orienté, et la texture fluidale que le microscope seul révélait dans les roches du Bode-Gang, est ici visible à l'œil nu.

Un fait très intéressant, découvert par M. Lossen, est la présence, dans beaucoup de ces roches, et notamment au Sienberg près du Cantorkopf, de *sphérolites* de dimension variable, atteignant parfois la grosseur d'un pois. Ces sphérolites ont une structure radiée, une couleur rose chair très délicate ; elles sont absolument semblables à celles qui se produisent dans la fusion du verre industriel, et à celles que l'on observe dans beaucoup de laves trachytiques. Elles nagent dans une pâte noire, que le microscope résout en quartz hyalin, tourmaline et nuages de matière siliceuse jaunâtre. Souvent cette matière se concentre en un cristal de quartz bipyramidé. Beaucoup d'autres sphérolites apparaissent, sous le microscope, au sein de cette pâte ; le centre en est toujours formé par un feldspath, et la tourmaline paraît entrer pour une part assez considérable dans la composition du reste de la boule. Quelques-unes se colorent à peine sous l'action de la lumière polarisée et paraissent complètement amorphes ; les plus grosses, celles qui sont visibles à l'œil nu, se résolvent en une matière feldspathique opaque, radiée, et une matière translucide vitreuse. Ce sont alors des sphérolites à croix noire, offrant la double structure rayonnée et concentrique.

Ainsi, nous retrouvons dans les roches des apophyses du Brocken, cette annonce de vitrosité que nous avions constatée dans la roche du Bode-Gang. Cette vitrosité apparaît dans des porphyres sphérolitiques analogues aux eurites ou micro-pyromérides de M. Michel Lévy, ou dans des porphyres dont la pâte est nettement micro-granitique sous le microscope, et qui correspondent, soit aux granophyres de Vogelsang, soit aux micro-pegmatites à étoilements de M. Michel Lévy.

Les résultats sont donc les mêmes : passage simultané du granite au porphyre granitoïde, et de celui-ci au porphyre quartzifère ; commencement du passage du porphyre quartzifère aux roches trachytoïdes, soit par la vitrosité de la pâte, soit par la présence de sphérolites à croix noire.

Conséquences relatives à l'âge du granite. — D'une part, il y a là une confirmation des théories de M. Michel Lévy sur les rapports entre les roches phanérogènes, adélogènes et cryptogènes ; de l'autre, étant admises les conclusions de M. Michel Lévy au sujet de l'âge de ces différentes transformations, nous voyons que les granites du Brocken et du Ramberg sont venus à l'époque houillère et probablement à la fin de cette époque.

Ce résultat pouvait être prévu sans le secours du microscope, puisque les porphyres granitoïdes de France ont été depuis longtemps, d'après les travaux de M. Grüner, rattachés à l'époque houillère, et que les porphyres granitoïdes du Bode-Gang sont absolument semblables à ceux de la Loire ; mais le microscope a donné à cette hypothèse d'âge une importante confirmation.

Nous savions déjà, par l'étude du métamorphisme des gabbros, que ce métamorphisme s'est exercé sur les grauwackes du culm et les schistes à posidonies, et que, par conséquent, l'apparition du granite du Brocken est certainement postérieur à l'époque du culm. Or d'après sa composition, la granulite du Ramberg paraît plus jeune que ce granite. Les conditions de gisement s'accordent donc avec les déductions lithologiques pour fixer à ces deux granites un âge post-carbonifère, et probablement, je le répète, contemporain des dernières couches de houille. Dans tous les cas, ils sont antérieurs aux premiers dépôts du rotheliegend, car leur apparition qui

a déterminé le grand soulèvement du Hartz n'a exercé sur ces dépôts aucune action.

Quant au granite de l'Okerthal, qui paraît être, par sa composition minéralogique et chimique, à peu près contemporain de celui du Ramberg, il s'annonce comme postérieur au Brocken, par les filons en apophyses qu'il projette dans les gabbros. Toutefois, cette postériorité n est pas absolument démontrée, car, selon moi, il n'est point évident que ces filons de granulite dans le gabbro soient des filons véritables. On n'a jamais observé de lignes de démarcation absolument nettes entre la roche magnésienne et la roche acide. Il y a, il est vrai, de véritables filons de granulite et de pegmatite dans les gabbros, mais ces filons sont constitués par des roches dont le facies n'est point identique à celui de l'Okerthal, et qui peuvent très bien en être indépendantes.

Métamorphisme exercé par le granite. — Je passe maintenant à l'étude rapide des roches métamorphiques qui résultent de l'action du granite sur les sédiments encaissants.

On a l'habitude de désigner ces roches dans le Hartz, sous la dénomination d'hornfels, qu'elles proviennent de la modification des schistes argileux ou des grauwackes, ou des quartzites, ou des calcaires, ou des schistes calcaires. En fait, ces roches offrent un certain nombre de caractères communs : elles sont très dures, à cassure esquilleuse, de couleur généralement sombre, d'un grain très fin, parfois même indiscernable. Pourtant on ne peut guère confondre les roches provenant de la transformation des grauwackes du culm, et celles qui ont été jadis des schistes siluriens de Wieda. M. Lossen pense que ces dernières seulement doivent garder la dénomination d'hornfels.

Si nous étudions la zone de contact du Ramberg, qui

est plus net que toutes les autres, et qui est presque entièrement formée aux dépens des schistes de Wieda, nous verrons que cette zone, qui entoure le Ramberg comme un anneau, peut se subdiviser en trois zones secondaires concentriques.

Fleckschiefer. — La zone extérieure est formée de schistes tachetés, nommés à cause de cela *Fleckschiefer*. Ce sont des schistes argileux d'une couleur gris bleuâtre, finement plissés ou ridés, et présentant encore une dureté faible et une fissilité assez prononcée. Les surfaces de séparation sont parsemées de petites taches ou plutôt de petits grains de la grosseur d'une tête d'épingle, qui ont une couleur un peu plus foncée et un éclat un peu plus mat que le reste de la masse. Ces taches disparaissent subitement vers le bord extérieur de la zone, et il y a une ligne de démarcation parfaitement nette en apparence, entre les fleckschiefer et les schistes non modifiés. En réalité cette ligne de démarcation n'existe pas, et l'examen microscopique comme l'analyse chimique a prouvé qu'il y a, au contraire, passage insensible entre ces deux catégories de roches.

Hornfels. — La zone intermédiaire est formée par les hornfels bruns ou braunhornfels. Les fleckschiefer passent à ces hornfels par une disparition lente des taches, et une augmentation progressive de la dureté. Les braunhornfels sont des roches encore schisteuses, finement plissées, d'une couleur gris bleuâtre. Ils passent à leur tour aux roches de la zone intérieure, c'est-à-dire aux véritables hornfels.

Ceux-ci ont un facies absolument identique dans tout le Hartz ; ce sont des roches à grain presque indiscernable, d'une dureté très grande, à cassure esquilleuse. Leur couleur est noire ou violette, mais toujours foncée.

Gneiss et micaschiste. — Au nord du Ramberg les fleckschiefer et les hornfels bruns sont peu développés, ou plutôt les hornfels bruns sont plus compacts que d'habitude. En certains points, au contact immédiat du granite, le hornfels a perdu sa couleur primitive pour prendre une teinte gris perle; du feldspath s'est introduit dans la masse et les plaquettes schisteuses ont l'apparence du mica. *C'est un véritable gneiss.* Ailleurs le feldspath manque à peu près complètement, et l'on a *un micaschiste.* Le microscope démontre la réalité de la transformation de l'argile en mica; sous la lumière polarisée, les plages s'éclairent et laissent apercevoir une mosaïque régulière. Çà et là on voit encore quelques taches de matière amorphe, qui correspondent probablement, dans ces roches de haut métamorphisme, aux taches des fleckschiefer.

Ainsi le gneiss et le micaschiste, ces roches essentiellement primitives et d'origine incertaine, se retrouvent, formées en pleine époque houillère, par l'action du granite sur des schistes argileux.

Sur le flanc N. du Brocken, on trouve de même un gneiss à cordiérite qui n'est qu'un premier pas du granite vers la manière d'être des hornfels. A la loupe, il présente une masse d'un vert clair, sans éclat, et un agrégat cristallin de quartz, grenat, mica noir et cordiérite. Accessoirement on y rencontre la magnétite, l'apatite et le zircon. Les hornfels voisins, au Meineckenberg, contiennent de la cordiérite.

On a souvent confondu les fleckschiefer et les spilosites (roches de contact des diabases grenues). Les principales différences sont : l'absence de la chlorite dans les premiers, et la prédominance de la potasse sur la soude, tandis que dans les spilosites, ainsi que nous l'avons vu, la chlorite est le minéral principal, et que la soude l'emporte de beaucoup sur la potasse.

Les intercalations calcaires dans les schistes de Wieda donnent des kalkhornfels de couleur grise, analogues d'aspect aux braunhornfels, mais contenant jusqu'à 20 p. 100 de chaux. Enfin les schistes calcaires donnent des bandhornfels ou hornfels zonés, qui sont aux fleckschiefer ce que les desmosites sont aux spilosites.

Autour du Brocken, les zones ne sont plus aussi bien marquées, et les fleckschiefer manquent complètement, même dans les formations siluriennes. Au Rehberg, au N. de Saint-Andreasberg, où l'étude des hornfels a été faite pour la première fois, ces roches présentent une grande uniformité d'aspect. J'en ai rapporté un échantillon type, dont le facies peut être considéré comme normal. C'est une roche compacte à cassure esquilleuse, très dure, faisant feu sous le briquet. Sa couleur est très foncée, d'un noir violet. Au microscope, elle se résout en une mosaïque micro-granulitique, dont les grains de quartz s'éteignent entre les nicols. Quelques-uns de ces grains présentent une section nettement hexagonale; on croirait voir une pâte d'elvan.

Entre le Sonnenberg et le Rehberg, dans cette presqu'île de grauwacke silurienne entourée de trois côtés par le granite, les horfels présentent le même aspect; ce qui n'a rien d'étonnant, puisque la grauwacke du Sonnenberg non modifiée offre à peu près l'aspect des schistes de Wieda. En certains points, près de la roche éruptive, les hornfels cessent d'être compacts et deviennent nettement cristallins; les petits cristaux de quartz sont visibles à l'œil nu. De loin, la roche ressemble alors beaucoup à la grauwacke du culm; de près, elle semble un véritable porphyre quartzifère.

Porphyroïdes. — C'est ici le lieu de dire un mot des porphyroïdes, ces curieuses roches que l'on rencontre aussi dans le Taunus et dans l'Ardenne, et dont le type

le plus connu est l'*Hyalophyre* (Dumont) de Mairus, près de Laifour. Longtemps considérées comme éruptives, elles sont aujourd'hui rangées, sur l'autorité de M. Lossen, parmi les produits du métamorphisme du granite. Ces roches ne se rencontrent en effet qu'au nord de la grauwacke de Tanne, dans les anneaux de contact du Brocken et du Ramberg, et le plus près possible du granite ; ce qui établit suffisamment leur relation intime avec les deux éruptions. De plus, l'on ne peut les regarder, ainsi que le voulaient certains auteurs, comme le produit d'une cristallisation spéciale opérée au sein de la mer, car elles n'occupent pas dans la formation silurienne un niveau déterminé, et s'observent à toutes les hauteurs dans les schistes de Wieda ou le quartzite du Bruchberg.

Au point de vue de la composition et de la texture, ces porphyroïdes sont des porphyres quartzifères à pâte micro-granulitique, où l'intercalation d'une phyllite a déterminé dans toute la masse une certaine orientation qui donne à la roche, sous le microscope, l'apparence d'un gneiss. La pâte est bleuâtre; on y aperçoit à l'œil nu des cristaux de quartz hyalin et de feldspath (oligoclase et orthose); le mica noir est abondant ainsi que la chlorite. La phyllite est peut-être de la séricite.

La meilleure preuve que ces porphyroïdes sont des produits de la transformation des sédiments siluriens, c'est que leur composition est à chaque instant variable avec celle de la roche encaissante. Dans les kalkhornfels, les porphyroïdes contiennent, à l'état de calcite, 8 à 10 p. 100 de chaux; ailleurs elle n'en contiennent pas 1 p. 100. Au voisinage des diabases grenues, l'orthose est remplacé dans les porphyroïdes par l'albite, et on y rencontre le grenat, l'épidote et l'axinite ; il y a évidemment eu, dans ce cas, superposition de deux métamorphismes.

Des fentes étroites (trümer) qui traversent les schistes et contiennent du quartz, du feldspath, du mica et de la

calcite, paraissent être en rapport intime avec les porphyroïdes. D'après M. Lossen, il n'y a même pas de différence réelle entre les lits de porphyroïdes à séricite, et les petites lentilles de quartz et de feldspath que l'on observe dans les schistes de Treseburg, et ces fentes passent elles-même à des réseaux de fissures capillaires.

M. Lossen attribue ces fentes, extraordinairement nombreuses dans les zones de contact du Brocken et du Ramberg, aux dislocations qui ont suivi le double soulèvement, et la production des lentilles et lits de porphyroïdes aux dissolutions et aux sublimations de silicates qui sont venues ensuite. Il a même créé pour cette nature particulière de métamorphisme, le nom de métamorphisme de dislocation, par opposition au métamorphisme de contact.

Je termine cette étude rapide des roches de contact du granite en donnant quelques analyses de ces roches empruntées, soit aux anciens travaux de Fuchs (*loc. cit.*), soit au mémoire de M. Lossen sur les spilosites et les desmosites (*Zeitschrift der deutschen geol. Gesellschaft*, 1872).

Brocken.	Hornfels type du Rehberg.	Hornfels grenu du Sonnenberg.
Silice	70,11	60,64
Alumine	13,72	20,73
Sesquioxyde de fer	7,59	7,34
Chaux	2,00	1,13
Magnésie	1,53	3,69
Potasse	2,85	2,07
Soude	2,28	3,55
Eau	1,18	1,78

Ramberg.	Braunhornfels.	Fleckschiefer.	Micaschiste.
Silice	59,17	53,96	54,14
Alumine	16,01	24,39	24,84
Sesquioxyde de fer	»	3,87	2,68
Protoxyde	6,69	6,11	4,16
Magnésie	4,61	2,73	1,74

Chaux	2,48	1,13	0,36
Soude	0,96	0,72	1,04
Potasse	7,55	2,09	5,04
Eau	2,49	4,41	5,08

Okerthal. — Hornfels cristallin provenant de la grauwacke du culm :

Silice	56,78
Alumine	21,57
Protoxyde de fer	7,18
Chaux	4,07
Magnésie	3,88
Potasse	3,42
Soude	2,39
Eau	1,85

Zone de la carpolite. — Avant de passer au rôle du granite dans la formation du Hartz, je dirai un mot d'une curieuse zone de métamorphisme située au bord sud du Hartz, entre Questenberg et Vaterrode, près Leimbach, dans les schistes de Wieda supérieurs. Sur une largeur qui ne dépasse guère 150 mètres, les schistes sont modifiés ; leur couleur est devenue verte ou violette ; ils contiennent beaucoup de chlorite et de fer oligiste ; mais surtout ils sont remplis de concrétions quartzeuses dans le vide intérieur desquelles a cristallisé de *la carpolite.* D'où le nom de zone à carpolite, donné par M. Lossen à cette zone de métamorphisme.

La carpolite, ou karpholite, a l'aspect de l'asbeste ou du chrysotile ; sa couleur est un vert jaunâtre. Ce minéral paraît répondre à la formule.



$$\left.\begin{array}{r} (H^2K^2Na^2, MnFeMg)^3\ Si \\ AlFe\ \ Si \end{array}\right| O^{10}.$$

La cause de ce métamorphisme régional est jusqu'ici complètement inconnue.

Bien qu'il n'entre pas dans le cadre de ce mémoire d'é-

tudier les filons du Hartz, j'ajouterai les quelques pages qui vont suivre pour faire connaître les vues remarquables de M. Lossen sur le rôle du granite dans le soulèvement de la région.

Rôle du granite. — A la simple inspection de la carte géologique du Hartz, on s'aperçoit que deux forces, l'une S.-E. N.-W., l'autre S.-W. N.-E. ont joué dans le soulèvement du pays un rôle prépondérant, et ont produit le plissement des couches dans ces deux directions. L'étude des régions qui environnent les deux massifs granitiques, et de tout le territoire compris entre ces deux massifs, particulièrement du bassin dévonien d'Elbingerode, a conduit à la même conclusion. Seuls, le nord-ouest du Hartz (Oberharz) et le sud-est montrent une direction uniforme des couches S.-W. N.-E.

Si maintenant l'on remarque que les grands axes des massifs granitiques sont très exactement dirigés l'un S.-W. N.-E., l'autre S.-E. N.-W., et que la dilatation des anneaux de contact vers le sud prouve l'extension méridionale du granite à une faible profondeur sous les schistes, on arrive à cette conclusion, que c'est par l'apparition du granite qu'ont agi les deux forces dont j'ai parlé.

« Intermédiaire par sa constitution orographique et sa situation géographique entre les formations paléozoïques de la Westphalie et du Rhin, et celles des Sudétes, le Hartz, dit M. Lossen, doit être considéré comme un point de rencontre, comme un nœud de deux systèmes qui s'y croisent et s'y arrêtent. » De cette idée est sortie naturellement l'hypothèse que les filons du Hartz sont une conséquence de ce double soulèvement. Dès 1870 on avait montré que la diversité de constitution physique des masses plissées devait produire des accidents dans la continuité des assises.

Ancienne théorie de M. de Groddeck pour la formation des filons de l'Oberharz. — C'est alors que M. de Groddeck émit sa théorie du rayonnement de tous les filons de l'Oberharz autour d'un même point, situé au Steiler Wand, dans le Kellwasserthal supérieur, à la limite du quarzite et du granite. La découverte d'un nouveau filon, dit filon de la Kellwasser, fut le point de départ de cette théorie. Le passage de ce filon est marqué par plusieurs rejets des bandes de schistes siliceux ; prolongée, la ligne de ces rejets passe entre les gîtes de fer de l'Eisenerweg et du Spitzenberg, qui paraissent n'avoir formé à l'origine qu'un seul et même gîte ; enfin sur l'Ochsenberg, traversé par cette même ligne, on peut observer un véritable filon sans minerai toutefois, rempli d'argiles bleues et grises avec intercalation de calcite et de concrétions pyriteuses.

Or si l'on prolonge les filons de Grund et de Clausthal d'une part, les filons de Lautenthal et de Bockswiese de l'autre, on obtient deux faisceaux de lignes qui viennent à peu près concourir avec le filon de la Kellwasser au Steiler Wand.

La direction du nouveau filon est h.-12 ; celles des deux faisceaux sont h.-9 et h.-7.

Rapprochant ce phénomène d'étoilement de l'uniformité remarquable que présente dans l'Oberharz le plissement des couches et leur direction, M. de Groddeck attribua, en bloc, au soulèvement soit simultané, soit successif, du Bruchberg et du Brocken, la formation des plis et celle des filons.

En effet, dit-il, on ne peut expliquer la production de ces fractures étoilées par l'hypothèse d'une pression uniforme perpendiculaire à la direction des couches et les pliant parallèlement au grand axe du bassin de Clausthal, car les seules fractures qui tendraient alors à se produire, seraient des déchirements parallèles aux plis.

Il faut supposer que la pression est normale, mais non uniforme. Soit ABCD (Pl. XI, *fig.* 10) une masse de terrain sédimentaire sollicitée par une pression normale à BD, mais telle que sur BE et ED, agissent des forces α, β d'intensité différente ; il se produira un étoilement EFGH.

Quant à l'extrême complication des filons de Grund, M. de Groddeck l'attribue à la réaction de l'Iberg, qui, d'après lui, serait resté inébranlable dans le mouvement des couches du culm.

Théorie de M. Lossen. — Cette théorie a été complètement renversée par les arguments de M. Lossen. Elle a l'immense défaut de se borner à la seule région comprise entre Osterode et Lautenthal; elle n'explique en aucune manière l'étrange bouleversement des formations dévoniennes de Goslar, et encore moins tout ce qui s'est passé à l'est du Brocken; enfin elle est basée sur une théorie mécanique très discutable, et d'ailleurs le fait même de l'étoilement n'est qu'un simple à peu près.

D'après M. Lossen, comme je le disais en commençant, il y a eu deux soulèvements successifs : le premier S.-W. N.-E., correspondant à la formation de la chaîne du Bruchberg et à l'apparition du granite du Brocken, et plissant toutes les couches du Hartz dans cette même direction ; le second, postérieur, dirigé S.-E N.-W., correspondant à la formation du granite du Ramberg, superposant son action au premier plissement et déterminant, par suite, la flexion, la torsion ou la rupture des couches.

C'est dans cette succession de deux soulèvements qu'est toute la théorie du Hartz.

Cette succession apparaît clairement à la simple inspection du massif du Brocken; le soulèvement hercynien (S.-E. N.-W.) s'y manifeste par les apophyses granophyriques d'Hasserode, et par l'allongement des zones mé-

tamorphiques dans cette direction. L'étude détaillée du Hartz tout entier n'a fait que confirmer cette théorie.

Je me contenterai de passer rapidement en revue les principaux faits qui ont servi de base à la théorie de M. Lossen, et les conséquences les plus importantes de la théorie elle-même.

Le grand filon de l'Oder. — 1° La fente de la Kellwasser ne s'arrête point au Steiler Wand, comme le croyait M. de Groddeck, elle se prolonge à travers le granite, suit la dépression profonde où coule l'Oder, et se termine en face de Saint-Andreasberg. La découverte de cette immense faille est due à MM. Lossen et Kaysen. Le granite du Rehberger Graben, au nord de Saint-Andreasberg, domine de 100 mètres environ le plateau d'hornfels (grauwackes et schistes) des Hahnenkleer-Klippen, situé de l'autre côté de l'Oder. Au Steiler-Wand, le rejet paraît être le même, et le granite est à 100 mètres environ au-dessous du quartzite. Ce n'est pas là la seule preuve de l'existence de la faille. Le granite du Rehberg envoie dans le manteau de grauwacke qui le recouvre, de nombreuses apophyses; or, on retrouve ces apophyses au fond de la vallée, sur la rive gauche de l'Oder, au pied de la muraille de grauwacke. Le rejet total est d'environ 200 mètres. Sur le parcours de la faille on a découvert, à l'Oderteich, de très nombreux blocs d'un quartz évidemment filonien imprégné de pyrolusite.

Ainsi la profonde dépression de l'Oder correspond à une faille gigantesque, à un véritable filon de quartz pauvre, rejetant le massif granitique du Brocken à 200 mètres en profondeur.

Ruschels de Saint-Andreasberg. — 2° Quand on examine attentivement les deux ruschels de Saint-Andreasberg, on voit qu'ils mettent en regard des couches

d'un âge absolument différents, les schistes de Wieda supérieur et la grauwacke de Tanne. Dans le Sperrenthal le long du Neufanger ou Ruschel du nord, il y a discordance complète de direction entre les couches situées de part et d'autre de la fente. Il s'ensuit que ces ruschels entourent un *coin* de terrain, violemment poussé de l'est à l'ouest, enfoncé normalement le long du Neufanger, et limité au sud par la surélévation du bord sud de l'Édelleuter. Les ruschels ne se rencontrent point vers l'est; ils ne présentent aucune relation avec la diabase silurienne; ce ne sont point des fentes ouvertes et postérieurement remplies par les débris de leurs épontes; mais ils résultent simplement du frottement des couches les unes sur les autres, sous l'action d'une flexion oblique au premier plissement.

3° Dans le bassin de la Selke, on voit, même d'après la carte, la superposition des deux plissements, aboutissant à la rupture des couches perpendiculairement à l'axe originel du bassin.

4° Les filons remplis postérieurement par les porphyres, et qui se rencontrent en si grand nombre dans la région comprise entre le Brocken et le Ramberg, sont dirigés sensiblement comme la fente de l'Oder, c'est-à-dire comme la corde de l'arc suivant lequel les couches devaient tendre à se fléchir. Ils coupent obliquement les premiers plissements; quand ces plis sont constitués par la diabase, ils ont souvent résisté à la rupture, et le filon de porphyre s'arrête pour reparaître au delà. Ces filons ne correspondent généralement pas à des rejets verticaux, mais à des rejets horizontaux du S.-W. au N.-E. Un autre système de filons de porphyre est dirigé à peu près suivant la ligne qui réunit le Bode-Gang aux apophyses d'Hasserode; ces filons sont accompagnés quelquefois de rejets verticaux.

Dans l'Oberharz, sur la rive gauche de l'Innerste, on

a découvert un filon d'un porphyre absolument semblable à celui d'Elbingerode. Ce filon est dirigé comme les filons dont je viens de parler, c'est-à-dire comme la fente de l'Oder. Le soulèvement hercynique a donc eu un retentissement sur l'Oberharz.

5° En regardant la carte, on voit que la chaîne du Bruchberg est brusquement interrompue par le granite, qu'à cette interruption correspond, dans la direction S.-E. N.-W., une interruption de la zone des diabases, enfin que le massif du Brocken est courbé en un arc immense dont la convexité est tournée vers l'est. Au nord du granite se retrouve le quartzite, qui semble avoir été enlevé à sa position première, rejeté vers le nord, et tiré ensuite vers l'est.

Les plis de l'Oberharz, si saillants et si nombreux vers le sud, diminuent de nombre et d'intensité en approchant de cet angle rentrant du granite, du côté d'Harzburg. On dirait des vagues qui s'apaisent aux abords d'un maëlstrom. Plus à l'ouest et plus au nord, elles ont été violemment recourbées, dans la formation dévonienne de Goslar.

Filons de l'Oberharz. — C'est à la tension produite par cette flexion superposée au premier plissement qu'il faudra dorénavant attribuer la production des filons de l'Oberharz. *Cette théorie n'est point encore faite.* Elle devra tenir compte, non seulement de la direction et du pendage des couches et du rejet des filons, mais encore des directions d'abaissement des lignes de selles et de bassins, de l'abondance locale des plis, de la flexion des couches, des renfoncements et formation des ruschels, etc.

Ainsi, concavité du Brocken du côté de l'Oberharz, convexité du côté de l'Unterharz ; flexion, rupture et rejet au N.-E. de la chaîne du Bruchberg ; à l'ouest de ce bouleversement, soulèvement du massif dévonien du

Kahleberg et flexion de ce massif ; à l'est, au contraire, formation des plis définitifs et cassures du terrain dévonien d'Elbingerode : tels sont les principaux rapports architectoniques dans la région du Brocken.

Entre le gîte de fer du Spitzenberg, qui semble constituer le véritable prolongement de la zone des diabases, et l'énorme massif de schalsteins du Breitenberg, M. Lossen admet l'existence d'un ruschel, auquel viendrait s'arrêter l'Oderspalte. Ce ruschel séparerait en effet deux régions qui ont subi des mouvements très différents : la ligne des selles de l'une va s'abaissant vers le N.-E. ; celle de l'autre s'abaisse dans le sens contraire.

Si maintenant l'on considère que les premiers plissements, au lieu d'être réguliers, formaient dans la réalité comme un grand escalier dirigé vers le N.-W., avec une pente générale N.-E., et que les plis hercyniens forment eux aussi un escalier dirigé vers le N.-E. avec une pente générale N.-W. ; on arrive, avec M. Lossen, à cette conclusion qu'il y a, non seulement flexion plane des couches, mais torsion en spirale, la fente de l'Oder étant l'axe de cette spirale. Ainsi s'explique la traction est qui a ramené au nord du Brocken le fragment brisé de la chaîne du Bruchberg. Il faudra évidemment tenir compte de cette torsion gauche dans la théorie des filons.

Quant à ces escaliers que semblent former les plis du Hartz, ils se rapportent évidemment aux degrés qu'a formés souterrainement le magma granitique.

D'après cette théorie, les filons de Saint-Andreasberg seraient un peu plus anciens que ceux de l'Oberharz ; ils sont d'ailleurs postérieurs à leurs ruschels. Après eux viendrait l'Oderspalte, puis les filons de l'Oberharz. Les filons de Saint-Andreasberg ont été plus riches en argent, antimoine, arsenic, cobalt, nickel, bismuth ; les autres plus riches en plomb, cuivre et zinc. Ces différences s'expliquent probablement par la grande inégalité de situa-

tion de ces filons par rapport au granite. Quant au filon de l'Oder, il est rempli par une formation de quartz pauvre, que l'on retrouve dans les filons des bords du Ramberg. C'est au peu de profondeur de cette fente qu'il faut attribuer, d'après M. Lossen, la pauvreté de son remplissage.

Les filons du Neudorf-Strassberger Gangzug, dans l'Unterharz, ont l'allure générale des filons de l'Oberharz, avec le remplissage de Saint-Andreasberg. Ils sont en effet, comme les filons de Saint-Andreasberg, au toit du granite, mais beaucoup plus loin, sans doute, de la roche éruptive. D'où leur nature mixte. Ils renferment, tout spécialement, du wolfram et de la scheelite, avec les minéraux de Saint-Andreasberg, ce qui semble indiquer d'une façon positive leur relation avec le granite.

Telle est, dans ses traits généraux, la théorie de M. Lossen. Née d'hier, cette théorie a besoin de bien d'autres confirmations encore. Il faudrait surtout savoir si les deux directions de soulèvement S.-W. N.-E. et S.-E. N.-W. ont, *à priori*, dû influencer le Hartz, et à quelle époque.

Quoiqu'il en soit, depuis ces grands phénomènes, le Hartz est entré dans une phase de calme qui n'a été légèrement troublée que par le soulèvement de la bande nord. A travers son énorme assise de granite, rien ne lui est plus arrivé du monde intérieur, et une petite source sulfureuse, à Ludwigshütte, sur le Bode-Gang, représente seule comme un reflet lointain des éruptions du Hartz.

TABLE DES MATIÈRES

GABBROS.

GRANITES.

NOTE

SUR UN DÉPÔT DE MATIÈRE ORGANIQUE

TROUVÉ

DANS LES MINES DE HOUILLE D'AHUN.

Par M. DE GROSSOUVRE, Ingénieur des mines.

Dans une visite des travaux souterrains des mines d'Ahun, notre attention fut attirée par une substance d'un aspect particulier, qui se déposait sur les parois d'une fissure aquifère.

Cette matière était d'un blanc laiteux et d'une consistance gélatineuse ; enfermée dans un flacon, elle prit une teinte noire ; par l'exposition à l'air, sa couleur blanche reparut rapidement ; par la dessiccation, elle se transforma en une substance cornée, jaunâtre, qui ne tarda pas à entrer en décomposition en exhalant une odeur fétide, comme une matière animale en putréfaction.

Nous avions donc affaire à une substance organique analogue à celle que l'on trouve dans certaines eaux minérales : la coloration noire, qu'elle prenait à l'abri de l'air, était due à l'action réductrice de la matière organique sur les sels de fer qu'elle tenait, soit en combinaison, soit simplement en mélange.

Examinée au microscope, elle a présenté l'apparence d'une masse glaireuse, floconneuse, sans trace d'orga-

nisation; on y remarquait seulement quelques cristaux de sulfate de chaux et quelques filaments de mycélium, produits sans aucun doute par les germes en suspension dans l'air des galeries.

Nous avons prié M. Péneau, directeur de la station agronomique du Cher, de vouloir bien la soumettre à l'analyse et d'examiner spécialement la quantité d'azote qu'elle renfermait.

Il a obtenu les résultats suivants :

Eau			96,33
Matière sèche. .	3,67	Matières organiques. .	2,90
		— minérales . .	0,97

La matière sèche renfermait 4 p. 100 d'azote; les matières minérales se composaient de :

Silice	0,44
Oxydes de fer et de manganèse	0,41
Potasse	0,03
Sulfate de chaux	0,12
Total	1,00

Il est à noter que les cendres renfermaient une quantité notable de manganèse mise en évidence par leur coloration.

Cette analyse montre donc que la substance en question est une matière albuminoïde qui a la plus grande analogie avec l'albumine végétale ou animale.

Elle doit être rapprochée de celle qui a été faite par MM. Béchamp et Saint-Pierre, d'une matière organique déposée par des eaux sulfureuses des Pyrénées-Orientales, et pour laquelle ils ont trouvé la composition suivante :

Eau			94,90
Matière minérale.	3,25	Graviers	2,38
		Silice soluble	0,52
		Sels solubles	0,35
Matière organique.	2,35	Matière glycogène	0,28
		Matière précipitée par le chlorure de baryum / Matière précipitée par l'ammoniaque / Pertes	2,07

Ces deux analyses offrent une grande ressemblance ; on voit donc que la substance trouvée à Ahun est identique à celles que l'on rencontre si fréquemment dans les eaux minérales et surtout dans celles qui sont thermales et sulfureuses : substances qui ont été l'objet de nombreuses études, et ont été désignées sous les noms les plus variés : pyrénéine, barégine, sulfurine, glairine, etc.

Une matière semblable avait été trouvée autrefois par Fournet dans les galeries de la mine de Pontgibaud et assimilée par lui à la substance organique signalée par Vauquelin dans les eaux de Vichy.

Nous avions cherché pendant longtemps quelle pouvait être l'origine de cette matière, et pour quelles raisons elle se déposait dans un seul point de la mine, quand M. Benoit, chef d'exploitation des mines d'Ahun, nous a signalé qu'il y a plusieurs années, dans l'approfondissement du puits Sainte-Barbe, au voisinage duquel se forme le dépôt actuel, on avait rencontré une veine d'eau chaude sulfureuse.

Le registre d'avancement porte, en effet, à la date du 2 janvier 1869, que les travaux d'approfondissement du puits Sainte-Barbe étaient arrêtés par une source d'eau chaude ; que cette eau, dans les bennes d'épuisement, avait encore au jour 20 degrés ; qu'elle dégageait une forte odeur sulfureuse et noircissait les pièces d'argent. La venue d'eau fut assez importante pour noyer

complètement les travaux, remonter de 100 mètres dans le puits et exiger un épuisement qui dura jusqu'au 14 février suivant.

Depuis cette époque, rien n'avait signalé l'existence de cette source dont les eaux se mélangeaient probablement avec les eaux d'infiltration de la mine.

Il nous paraît hors de doute que c'est à elles qu'il faut rapporter le dépôt en question.

Quelle est l'origine de la matière organique des eaux minérales ? La plupart des chimistes sont d'accord pour la rechercher dans les roches qu'elles traversent ; on a même admis qu'elle était apportée par les eaux atmosphériques, qui s'en chargeaient en filtrant à travers les couches superficielles du sol.

Au contraire, dès 1853, M. Ch. Sainte-Claire Deville n'hésitait pas à considérer ces substances azotées comme des produits d'émanations telluriques, aussi bien que les sels ammoniacaux dégagés par les volcans.

Cette manière de voir se trouve aujourd'hui confirmée par les travaux les plus récents, et concorde parfaitement avec les idées généralement adoptées sur l'origine des asphaltes, des pétroles et de toute cette série de composés hydrocarburés qui viennent se dégager à la surface du sol, le long des grandes lignes de fractures. Toutes ces matières sont regardées comme des produits d'émanations volcaniques, qui ont leur siège à l'intérieur de la terre.

Les récentes découvertes de la chimie démontrent, d'ailleurs, la possibilité de la formation des matières organiques par de simples réactions chimiques. M. Berthelot a établi depuis longtemps déjà la synthèse des hydrocarbures, et on peut prévoir dès maintenant qu'on ne tardera pas à obtenir, par des procédés analogues, celle des matières albuminoïdes.

Quant à la prétendue tendance que posséderait la ma-

tière organique azotée des eaux minérales à se transformer en conferves sous l'influence de l'air et de la chaleur, nous ne pouvons l'admettre, et nous ne voyons là qu'une végétation due à des germes apportés par l'air, qui trouvent, dans l'eau minérale et la matière organique qu'elle tient en suspension, un milieu favorable à leur développement.

NOTE

SUR

L'APPAREIL DE DÉCLENCHEMENT

SYSTÈME AUBINE

POUR SIGNAL AUTOMOTEUR

Par M. SCHLEMMER, inspecteur général des ponts et chaussées.

On se préoccupe depuis longtemps d'assurer la protection des trains entrant dans une gare, en utilisant, pour cela, l'action mécanique du train lui-même, de manière à parer au danger qui serait la conséquence d'un oubli ou d'une négligence de la part des agents.

La solution du problème qui a paru, de tout temps, la plus naturelle et la plus simple, est celle de l'emploi d'une *pédale* actionnée par les roues du train et produisant le déclenchement d'un contrepoids ; la chute de ce contrepoids fait tourner de 90° le disque rouge avancé de la gare et le met à l'arrêt.

Cette solution serait, en effet, la plus simple, si l'action du train se réduisait au choc de la première roue venant presser sur la pédale, pour déclencher le contrepoids du signal. Mais la pédale devant revenir à sa position normale par elle-même, dès qu'elle est libre, si rien ne venait entraver son mouvement, elle serait heurtée

violemment par toutes les roues successives d'un train en marche, circulant souvent à grande vitesse ; et comme cette pédale, destinée à produire un effet mécanique assez énergique, doit être composée de pièces résistantes formant un ensemble assez lourd, tous ces chocs successifs ne manqueraient pas d'exercer sur elle une action destructive. Il faut donc arrêter son mouvement de relèvement, immédiatement après le passage de la première roue, tout en donnant à la gare la possibilité de remettre l'appareil en service dès que besoin serait. Il faut, en outre, que l'appareil soit disposé de manière à ne point gêner la manœuvre directe du disque par la gare, toutes les fois qu'elle aurait besoin de couvrir une manœuvre. Il faut enfin que les agents de la gare ne soient point amenés à compter sur le fonctionnement de l'appareil automatique, pour se dispenser de manœuvrer le disque dans les conditions prescrites par les règlements. Ils doivent ignorer si le train a été effectivement couvert automatiquement, aussitôt après son passage devant le disque. Autrement dit, la sonnerie, qui annonce à la gare que le disque est à l'arrêt, ne doit pas se faire entendre lorsque l'appareil automatique a fonctionné, mais seulement lorsque les agents de la gare ont manœuvré le levier du signal de la manière voulue pour mettre le disque à l'arrêt.

Ces différentes conditions ont rendu les recherches longues et laborieuses, et ont, dans le service des Compagnies, fait écarter les essais pratiques d'appareils plus ou moins ingénieux, lorsque ceux-ci ne satisfaisaient pas, complètement, à toutes les exigences du programme ci-dessus.

Ces conditions sont aujourd'hui remplies par un appareil qui a été imaginé par M. Aubine, agent du service télégraphique de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée.

Dix de ces appareils, à pédale enclenchée Aubine, ont été mis en service et progressivement améliorés dans leurs détails sur la ligne de Paris à Dijon ; depuis dix-huit mois environ qu'ils fonctionnent, ils n'ont donné lieu à aucune difficulté, et la confiance de la Compagnie dans cet appareil, si important pour la sécurité de la marche des trains, est aujourd'hui telle qu'elle vient de proposer de généraliser son emploi sur les parties les plus fréquentées de son réseau, c'est-à-dire sur les lignes de Paris à Marseille et à Toulon, de Villeneuve-Saint-Georges à Montargis, de la Renardière (près de Saint-Étienne) à Lyon, et de Tarascon à Cette.

Nous donnerons ci-après la description détaillée de l'appareil, en y joignant les dessins indispensables pour en faire comprendre la construction ; mais sachant, par expérience, que des descriptions de cette nature sont d'une lecture aride et le plus souvent ne suffisent pas, quelque soin que l'on y donne, pour bien faire saisir le mode de fonctionnement même de l'appareil, nous allons tout d'abord présenter un résumé des circonstances essentielles de ce fonctionnement.

Aussitôt que la première roue de la locomotive passe sur la pédale, celle-ci en s'abaissant déclenche le contrepoids qui fait tourner le disque et le met à l'arrêt ; du même coup, l'appareil exerce une pression sur le prolongement de la pédale et l'empêche de se relever. Le système reste dans cette situation tant que le fil de transmission n'est pas manœuvré par la gare.

La continuité du circuit électrique qui va du disque à la sonnerie de la gare est, d'ailleurs, encore interrompue, et la sonnerie ne fonctionne pas, quoique le disque soit à l'arrêt. Mais dès que l'agent de la gare chargé de la manœuvre du disque a abaissé son levier, comme il doit le faire, d'après les règlements, pour couvrir le train, le circuit est complet et la sonnerie fonctionne. Ce mouve-

ment rétablit, du même coup, dans l'appareil Aubine, l'enclenchement de façon à permettre à la pédale de se relever ; l'agent de la gare pourra dès lors, mettre le disque à voie libre, par le relèvement de son levier, et la transmission de ce mouvement aura lieu comme si l'appareil Aubine n'existait pas. L'appareil sera près alors à fonctionner de nouveau.

C'est encore grâce à la solidarité réalisée par l'enclenchement que le fil de transmission du disque agit sur le signal, comme s'il n'y avait pas d'appareil automatique interposé sur son parcours, et permet de mettre le disque à l'arrêt, sans recourir à l'action de la pédale. On voit, par cet exposé sommaire, que le système satisfait à toutes les conditions du programme énoncé plus haut.

Voici maintenant la description proprement dite de l'appareil Aubine :

Description de l'appareil. — L'appareil interposé sur le fil de transmission entre le disque et la gare, et très près du disque, se compose :

D'un arbre vertical A (Pl. XII, fig. 1 et 2), tournant dans une boite ou bâti BC qui abrite l'appareil, et portant, calée sur lui, une manivelle *m* ; à l'extrémité de celle-ci s'attachent, d'une part, le fil de transmission venant du côté de la gare, et d'autre part et du côté opposé, une chaîne tendue par un petit contrepoids spécial R, dont il sera question plus loin ; à gauche et un peu au-dessous de cette manivelle, solidaire avec l'arbre A, un levier L peut osciller, dans un plan vertical, autour d'un axe *f* traversant l'arbre A. Ce levier porte, à la partie inférieure, un talon *t*, destiné à pénétrer dans l'encoche E, pratiquée dans la couronne circulaire N, portée par une manivelle à plateau MD, dans laquelle passe l'arbre A, comme il le ferait dans une poulie folle montée sur cet arbre ; c'est à cette seconde manivelle qu'est attaché le

fil de transmission qui va au contrepoids de rappel du disque.

Quand le talon *t* est dans l'encoche E, la manivelle MD devient solidaire de l'arbre A, et, par conséquent, tourne avec lui, en même temps que la manivelle *m*. Le mouvement de l'arbre lui est alors communiqué par l'intermédiaire du levier L, comme le montre le dessin.

Quand, au contraire, le levier L s'élève en tournant autour de l'axe *f*, le talon *t* abandonne l'encoche E et le mouvement de la manivelle MD devient indépendant de l'arbre A et de la manivelle *m*.

Une pédale P (fig. 3 et 4) placée le long du rail, équilibrée par le contrepoids K (fig. 1 et 2), peut entraîner, en tournant sur son axe G un levier H dont l'extrémité J est disposée au-dessous du levier L, de façon à le faire osciller et à faire sortir son talon *t* de l'encoche E de la manivelle MD.

Fonctionnement. — Supposons que les deux manivelles *m* et MD se trouvent rendues solidaires au moyen du levier L, et l'appareil placé sur le parcours de la transmission d'un signal avancé ; si on relie la transmission du disque partant de la gare à la manivelle *m* et celle allant au signal à la manivelle MD, le résultat sera identiquement le même que si la transmission n'était pas interrompue. On peut donc manœuvrer le signal de la gare comme s'il n'y avait pas d'appareil spécial dans le parcours.

On voit par les figures 3 et 4 que la pédale P est placée près du rail, de manière à s'abaisser lorsqu'elle est touchée par la saillie des bandages au passage d'une machine. Elle entraîne alors dans son mouvement et dans le sens inverse le levier H monté sur l'arbre G (fig. 2). Le levier H, en appuyant sur l'extrémité du levier L, fait sortir le talon *t* de l'encoche E, et déclenche la manivelle

MD qui devient indépendante de la manivelle *m*. La manivelle MD est entraînée par le contrepoids de rappel du signal S qui se trouve ainsi mis à l'arrêt. Le talon *t* du levier L, n'étant plus en face de l'encoche E, est maintenu relevé par la couronne N de la manivelle MD.

La couronne N porte à cet effet une saillie N', correspondant à l'extrémité du levier H. Cette saillie se trouve à la partie extérieure de la couronne : sa face supérieure est en forme d'hélice, et vient s'appuyer, pendant la rotation de la manivelle MD, sous l'extrémité J du levier H, qu'elle empêche ainsi de s'abaisser ; il résulte de cette disposition que lorsque la première roue d'un train a touché la pédale P, et que le déclenchement s'est produit, la pédale est maintenue abaissée, et par conséquent à l'abri du choc des autres roues.

Après le déclenchement, le signal est maintenu à l'arrêt, par son levier de rappel, et ne peut être effacé que par une manœuvre faite de la gare. Il faut, pour cela, que la gare agisse sur son levier de disque, comme pour mettre le signal à l'arrêt, puis, qu'elle relève le levier pour effacer le signal ; alors l'appareil de déclenchement se remet dans sa position primitive, et la pédale revient faire saillie sur le rail.

Voici comment s'obtient à nouveau l'enclenchement des manivelles *m* et MD. Le fil de transmission partant de la gare est accroché à l'extrémité de la manivelle *m* dont nous avons parlé (fig. 1 et 2) ; à cette manivelle est fixée une chaîne répondant à un contrepoids de rappel ordinaire de signal R, placé tout près de l'appareil. Quand le signal S est effacé, le contrepoids R se trouve relevé comme celui du signal. Dès que la gare veut se couvrir, elle abaisse son levier, et, par cette manœuvre, elle détend le fil qui va du compensateur Dujour à la manivelle *m*; celle-ci fait un quart de tour entraînée par le rappel R.

Dans ce déplacement, la manivelle *m* fait mouvoir l'arbre A et avec lui le levier L, dont le talon *t*, dans ce mouvement de rotation, vient se placer de nouveau dans l'encoche E, de sorte que les deux manivelles redeviennent solidaires ; du même coup la saillie N' s'est dérobée sous l'extrémité J du levier de la pédale, et la transmission est alors prête à fonctionner comme si l'appareil de déclenchement n'existait pas ; c'est-à-dire que la gare en agissant sur son levier agit en même temps sur le signal S lui-même. Si donc on relève le levier de manœuvre de la gare dans sa position normale, on ramène le signal S à voie libre, et l'appareil de déclenchement est de nouveau prêt à fonctionner au passage d'un train.

Position de l'appareil. — L'appareil de déclenchement pourrait se placer à une distance quelconque du signal ; le plan général (fig. 5) représente l'appareil à 40 mètres du signal, afin que, tout au moins le mécanicien et le conducteur de tête aient dépassé le signal S, avant que la pédale de l'appareil Aubine soient appelée à fonctionner, et que, par suite, les agents du train n'aient aucune hésitation sur le sens du mouvement du disque qui couvre le train derrière eux.

Transmission. — On peut employer avec l'appareil de déclenchement Aubine tous les systèmes de transmission, soit avec compensateur d'origine, soit avec compensateur intermédiaire, soit même avec deux fils.

Sonnerie d'avertissement. — Les signaux de gare sont généralement munis d'une sonnerie électrique placée dans le voisinage du levier de manœuvre, pour indiquer à l'agent chargé de la manœuvre que le signal a bien fonctionné. Cette sonnerie est dans le circuit d'un courant électrique, qui est établi au moyen d'un contact

pris sur un des organes du signal dès que celui-ci est à l'arrêt. Le contact cesse lorsque le signal s'écarte de la position qui commande l'arrêt aux trains.

Cette disposition est modifiée quand il s'agit d'un disque pourvu d'un appareil automoteur Aubine, de peur que l'agent chargé de manœuvrer le signal ne soit tenté de négliger son service, s'il est assuré par la sonnerie que le train arrivant à la gare est déjà couvert. La sonnerie ne doit marcher que si le levier de la gare est abaissé, pour mettre le signal à l'arrêt, comme si celui-ci n'y était déjà.

Pour obtenir ce résultat, le circuit de la sonnerie est interrompu, d'abord près du signal, et ensuite près de la pédale, lorsque le disque est à voie libre.

Quand la machine passe devant l'appareil automoteur, le déclenchement se produit et le signal se met à l'arrêt, ce qui établit le contact entre les deux boutons au pied du signal, mais le courant électrique ne se produit pas encore, parce qu'il y a toujours une solution de continuité à l'appareil de déclenchement. Le train est couvert, mais la gare n'en est pas avertie ; c'est quand l'agent de la gare renverse le levier de manœuvre que le second contact se produit, et alors la sonnerie fonctionne.

La gare peut mettre le signal à l'arrêt pour couvrir des manœuvres ou pour toute autre cause, comme s'il n'y avait pas d'appareil de déclenchement ; dans ce cas, les deux contacts se produisent simultanément.

Croquis schématiques. — La lecture de la description des particularités d'un appareil ou d'un système, a souvent pour effet de rendre assez pénible, pour l'esprit, l'effort qu'il faut faire pour avoir et garder la vue d'ensemble du fonctionnement de l'appareil ou du système. Je présume que cette petite difficulté va se présenter aussi dans le système décrit ici, où fonctionnent trois

leviers de rappel, celui de la gare, celui de l'appareil Aubine et celui du disque, et où l'interposition du compensateur Dujour, aux 2/3 environ de la longueur du fil de transmission, a pour effet de rendre inverses l'un de l'autre les mouvements des deux parties de la transmission, c'est pour essayer de remédier à cet inconvénient, ou du moins, pour l'atténuer, que je joins à la présente note trois croquis schématiques (*fig.* 7, 8, 9) qui résument et font plus facilement retenir les mouvements respectifs des organes considérés dans le fonctionnement de l'ensemble.

Paris, le 25 février 1884.

NOTE

SUR LES

FILONS DE QUARTZ AURIFÈRE DE L'ATAJO

PROVINCE DE CATAMARCA (RÉPUBLIQUE ARGENTINE).

Par M. KUSS, Ingénieur des mines.

Nous avons eu récemment l'occasion d'étudier dans la sierra de l'Atajo, province de Catamarca, République Argentine, un système de filons de quartz aurifère dont le gisement rappelle beaucoup celui des filons aurifères de la Hongrie et de l'État de la Nevada, dans l'Amérique du nord. Retrouver dans l'Amérique du sud des conditions presque identiques à celles observées en Transylvanie et au Comstock est assurément un fait intéressant, sur lequel il nous a paru utile d'appeler l'attention des lecteurs des *Annales des Mines.*

La chaîne de montagnes de l'Atajo, dépendance de l'immense ensemble désigné sous le nom de Cordillères des Andes, est située dans la partie septentrionale de la République Argentine; le point culminant se trouve par 27° 15′ de latitude australe et 69° 30′ de longitude ouest de Paris.

Les Cordillères sont formées par une série de chaînes à peu près parallèles, dont la direction générale est nord-sud et que séparent des vallées longitudinales ordinaire-

ment resserrées mais parfois d'une assez grande largeur.

Au nord de la République Argentine, dans les provinces de Jujuy, de Salta, de Tucuman et dans une partie de celle de Catamarca, ces chaînes s'infléchissent vers le nord-25°-est pour aller se rattacher au puissant massif du haut plateau bolivien. A la latitude du 27° parallèle, la plus orientale d'entre elles porte le nom de sierra de l'Aconquija ; ses sommets, couronnés de neiges éternelles, s'élèvent à 5.300 mètres d'altitude ; les quelques cols qui permettent de la franchir, cols de Guananquito, de Larca, de Tafi, sont à 3.000 mètres environ de hauteur. Le versant oriental, sur lequel les vents venant de l'Atlantique déposent l'humidité dont ils sont chargés, est recouvert d'une végétation de toute beauté ; le versant occidental, au contraire, est escarpé, aride, brûlé par le soleil.

Au pied de ce versant occidental, à une altitude moyenne de 2.000m ètres environ, s'étend, sur une largeur de 100 kilomètres, jusqu'à la deuxième chaîne des Cordillères, qui porte le nom de sierra de Gulumpaja, un véritable désert de sable, le *campo del Arenal*, que limitent au nord le massif montagneux de Santa-Maria, au sud une chaîne transversale, celle de l'Atajo, dont nous allons nous occuper. Dans toute cette étendue de 80 kilomètres de longueur sur 100 de largeur, l'eau est très rare ; les petits ruisseaux qui descendent de l'Aconquija se dessèchent avant d'en avoir atteint le pied ou se perdent dans le sable dès qu'ils sont arrivés à la plaine ; on y retrouve, sur une petite échelle, tous les phénomènes caractéristiques des déserts, notamment plusieurs chaînes de dunes qui paraissent cheminer lentement du sud vers le nord. Il est facile d'ailleurs de s'assurer que la désolation actuelle du *campo del Arenal* est due à des causes relativement récentes et qu'autrefois, au contraire, les eaux ont dû y être abondantes et puissantes : on retrouve, en effet, tout le long des deux chaînes de l'Aconquija et

de Gulumpaja, de nombreux cônes de déjection d'une grande étendue, témoins d'un ordre de choses aujourd'hui disparu.

La chaîne de l'Atajo suit une direction à peu près est-ouest, c'est-à-dire perpendiculaire à celle des deux chaînes principales entre lesquelles elle s'étend. A l'est, elle se détache de l'Aconquija un peu au nord des mines de cuivre de las Capillitas; vers l'ouest, elle se rattache à la chaîne de Gulumpaja par les montagnes de Belen; les sommets les plus saillants de la chaîne transversale sont loin d'ailleurs d'atteindre la hauteur des cîmes des deux chaînes longitudinales; leur altitude au-dessus du *campo del Arenal* ne dépasse pas 500 ou 600 mètres. La pente y est constamment très forte, variant de 20 à 28 et même 30°; on n'y trouve aucun filet d'eau permanent (*), presque aucune végétation; partout la roche est à découvert; la facilité des explorations géologiques y compense ainsi jusqu'à un certain point pour l'ingénieur les difficultés matérielles résultant de la sécheresse et de l'aridité du sol.

Bien différente des chaînes de l'Aconquija et de Gulumpaja, entièrement formées de granites, gneiss et micaschistes, avec dépôts, au pied, de grès et de marnes tertiaires en couches fortement relevées vers l'ouest, la chaîne de l'Atajo est, au contraire, tout entière constituée par des roches très récentes d'origine volcanique. Dans la partie où se trouvent les filons de quartz aurifère, la seule dont nous ayons pu faire une étude attentive et la seule dont nous nous occupions dans ce qui va suivre, le terrain est constitué par des bancs presque horizontaux, de texture et d'apparence assez variées, mais presque uniformé-

(*) Les cours d'eau indiqués sur la carte, Pl. XIII, *fig.* 1, sont en réalité presque toujours à sec; ils marquent simplement les thalwegs des vallées.

ment de couleur lie de vin, violet foncé ou verdâtre; dans quelques bancs, la couleur grise domine exceptionnellement. Nous en avons rapporté un certain nombre d'échantillons que M. Michel-Lévy a eu la complaisance d'étudier et de déterminer avec l'autorité qui s'attache à ses travaux. Il est résulté de cet examen que les roches de l'Atajo sont des rhyolithes et des tufs rhyolithiques, ces derniers paraissant dominer beaucoup : un seul échantillon sur sept a pu être classé comme une véritable rhyolithe éruptive, composée des éléments suivants :

I. Mica noir, très transformé en épidote et en chlorite, fer oxydulé, quartz, orthose, oligoclase.

II. Pâte très amorphe, fluidale, avec quartz isolé en veinules. Les autres échantillons examinés sont des tufs rhyolithiques très calcifiés, contenant des débris de mica noir en partie transformé en épidote, d'orthose (sanidine), d'oligoclase (en partie calcifiée), parfois du fer oligiste ou du fer titané avec enduit de sphène, parfois aussi des débris d'amphibole, dans un magma très calcifié et très quartzifié.

La rhyolithe forme d'ailleurs, comme les tufs rhyolithiques, des nappes ou coulées sensiblement horizontales; toutes les roches sont fortement altérées et, sans le secours du microscope, il serait impossible ou tout au moins fort difficile de les distinguer. L'épaisseur totale de cette formation de tufs et de nappes rhyolithiques est de 5 ou 600 mètres environ au-dessus du niveau de la plaine de l'Arenal.

Sur ces nappes horizontales, de couleur uniformément sombre, tranchent très vivement des dykes de couleur claire, blanche ou jaunâtre, à affleurements généralement saillants, inclinés de 60 à 80° sur l'horizon et atteignant des puissances de 10, 12 ou même 15 mètres, que l'on est porté tout d'abord à regarder comme de véritables filons de rhyolithe ayant traversé les tufs rhyolithiques hori-

zontaux. (Voir la carte, Pl. XIII, *fig.* 1). Le plus important de ces dykes est le filon connu sous le nom de filon *Carmen* ou filon *del Rosario*, dont le bel affleurement, formant une crête très saillante de 10 à 12 mètres de puissance, se suit sans interruption sur plus de 600 mètres. Courant du nord-50°-ouest au sud-50°-est, il plonge vers le sud-ouest sous un angle d'environ 70°. Il a été reconnu par un grand nombre de travaux superficiels irréguliers dont quelques-uns n'ont pas moins de 25 mètres de profondeur et par une galerie horizontale qui l'a rencontré à 75 mètres du jour, après avoir recoupé d'abord deux filons secondaires de même nature. Dans cette galerie, le filon n'a pas de sulbandes bien nettes; il adhère fortement à la roche encaissante sans cependant se confondre avec elle par des passages graduels et sans cesser de s'en distinguer par sa couleur.

On peut établir dans le remplissage trois divisions : 1° près des épontes, deux bandes d'une roche jaunâtre contenant quelques rares veinules de quartz caverneux et d'une poudre jaune désignée sous le nom de *llampo;* 2° deux bandes d'une roche beaucoup plus imprégnée de quartz et très chargée de pyrite; 3° une bande centrale formée de deux veines de minerai proprement dit, de $0^m,50$ à $0^m,60$ de puissance chacune, séparées par une veine rocheuse de $0^m,50$ qui disparaît quelquefois.

L'examen microscopique a montré que la roche n° 1 est en réalité un tuf ou une brèche rhyolithique contenant du mica, du feldspath très décomposé, du quartz, le tout très bréchiforme, dans une pâte très amorphe et très chargée de calcite secondaire. Nous y avons constaté aussi, dans la mine, une veinule de gypse fibreux de $0^m,05$ environ de puissance.

La roche n° 2 est également un tuf ou une brèche rhyolithique avec un grand nombre de veinules de quartz et d'opale, du talc, de la pyrite de fer en abondance.

Le remplissage central n° 3 est un quartz aurifère très poreux, à grains cristallins très fins, dont les cavités sont habituellement remplies d'une terre jaune appelé *llampo*, également aurifère. La couleur du quartz varie du blanc au gris clair; dans certaines parties du filon, il contient, à l'état de mélange intime, des quantités assez notables de magnétite; les échantillons qui en renferment le plus ont une teinte grise foncée et passent pour les plus riches en or. L'or est toujours finement disséminé tant dans le quartz que dans les *llampos;* nous n'avons trouvé aucun échantillon dans lequel il fût visible soit à l'œil nu, soit à la loupe.

Nous avons essayé sur place un grand nombre d'échantillons par la méthode généralement adoptée dans l'Amérique du sud. On pulvérise le minerai, puis on le broie aussi finement que possible; on le lave ensuite dans une corne de bœuf noire, taillée de manière à présenter la forme d'un berceau; l'essai se fait sur une quantité de matière qui varie de 200 à 300 grammes; le lavage, pratiqué avec soin, enlève d'abord les parties terreuses, puis le quartz, ensuite la pyrite de fer. L'oxyde de fer (oligiste et magnétite) et le fer titané restent les derniers avec l'or dont il est assez facile de réunir les quelques grains et dont la présence échappe rarement lorsque la teneur du minerai essayé atteint 10 grammes aux 1000 kilogrammes. Tous les échantillons de quartz ou de *llampo*, ou presque tous, nous ont donné, après lavage, quelques grains d'or visibles, le plus souvent très fins, parfois assez gros et pouvant peser jusqu'à 1 milligramme. Le minerai contient en outre de l'argent sous une forme que nous ne sommes pas arrivé à reconnaître avec certitude, probablement en partie à l'état d'argyrose, en partie dans la pyrite.

Des essais chimiques ultérieurs nous ont donné, pour la teneur moyenne du minerai, de 20 à 28 grammes d'or

et de 50 à 100 grammes d'argent aux 1000 kilogrammes de minerai. L'argent n'y est d'ailleurs pas allié à l'or; nous nous en sommes assuré en traitant par le mercure une certaine quantité de minerai préalablement enrichi par des lavages mécaniques; l'or extrait par amalgamation avait un titre de 940 millièmes. L'argent se trouve donc presque entièrement à un état où il n'est pas amalgamable. Ajoutons enfin que des fragments à teinte grise, choisis avec un très grand soin, ont donné 125 et même 200 grammes d'or aux 1.000 kilogrammes de minerai, ce qui montre qu'ici comme partout et malgré sa finesse, l'or est disséminé d'une manière assez irrégulière dans le minerai.

La bande quartzeuse qui constitue, dans le filon Carmen, le minerai proprement dit, le reste du remplissage étant à peu près stérile, présente une assez grande régularité d'allures; sa puissance est ordinairement de 1 mètre à $1^{m},20$; elle atteint 2 mètres au maximum sur quelques points. Le filon rhyolithique entier est d'ailleurs fort régulier sur 600 mètres environ, sur le versant nord de la montagne de l'Atajo; au nord-ouest, il paraît se terminer en coin ou du moins diminuer notablement de puissance; au sud-est, il disparaît sous des éboulis et n'a jamais été sérieusement exploré.

Les autres filons présentent une constitution analogue à celle du filon Carmen que nous venons de décrire, mais la bande quartzeuse et aurifère y est moins développée. L'un d'eux, orienté presque exactement est-ouest et désigné assez improprement sous le nom de *filon croiseur*, a de 3 à 4 mètres de puissance, dont $0^{m},50$ environ de minerai. Dans les autres, dont quelques-uns, notamment le filon *Porvenir*, ont jusqu'à 15 mètres de puissance, le remplissage entier paraît rhyolithique; tout au moins n'y trouve-t-on que des veinules de quartz de puissance très réduite. On remarque en outre un grand nombre de rami-

fications ayant parfois 2 ou 3 mètres de puissance qui se détachent des filons principaux et vont, soit se perdre en coin, soit rejoindre un filon voisin. (Voir Pl. XIII, *fig.* 1.)

Indépendamment du groupe qui affleure sur le versant nord de l'Atajo, d'autres affleurements d'une grande puissance se voient, soit sur la crête et le versant nord-ouest, soit au contraire sur le versant sud-est de la montagne. Ceux du nord-ouest sont remarquables par leur grande puissance : ce sont de véritables murs de rochers, tranchant vivement par leur couleur jaune sur la teinte foncée des roches encaissantes. Ceux du sud-est, désignés au plan sous les noms de filons ferrugineux n°s 1, 2, 3, ont des affleurements plus sombres, mais tout aussi nets; l'oxyde de fer y abonde ; comme dans les filons aurifères, il ferait certainement place, en profondeur, à de la pyrite de fer. Sur le même versant sud-est se voit un filon, *Santa-Barbara*, dont l'aspect est identique à celui des filons *Carmen*, *croiseur* et autres : il a été l'objet de quelques fouilles et présente une veine de $0^m,25$ à $0^m,30$ de quartz blanc caverneux avec *llampos* aurifères.

Enfin, en dehors des filons d'or de l'Atajo proprement dit, nous citerons deux filons qui ont été exploités pour cuivre aux mines Santa-Rosa et Consuelo. On y a suivi, en effet, des veinules de cuivre natif et d'oxyde ou de carbonate de cuivre, mais ces minerais n'ont pas tardé à disparaître. A Santa-Rosa, nous n'avons plus vu aucune matière utilisable ; à Consuelo, le filon que l'on a exploité par une descenderie est en réalité de même nature que les filons de l'Atajo. A 30 mètres du jour, c'est-à-dire au fond des travaux actuels, nous n'avons vu qu'une veine de quartz de $0^m,40$ environ de puissance, avec quelques mouches de carbonate de cuivre ; les essais que nous avons faits de ce minerai ont montré qu'il était aurifère comme celui des autres filons de l'Atajo et, en outre,

sensiblement plus riche en argent (25 grammes d'or et 385 grammes d'argent aux 1.000 kilogrammes). Nous devons dire à ce propos que l'on trouve aussi, dans les tufs proprement dits de l'Atajo, des traînées mouchetées de carbonate de cuivre; mais le cuivre ne paraît pas s'y rencontrer dans le remplissage même des filons.

Au point de vue de l'origine des filons de l'Atajo, il y a lieu, croyons-nous, d'y distinguer les phénomènes suivants :

1° Eruption et dépôt des rhyolithes et des tufs rhyolithiques en nappes horizontales;

2° Ouverture de fentes à peu près verticales que sont venus remplir des tufs rhyolithiques;

3° Ouverture, dans ce remplissage, de fentes parallèles aux premières et venue de sources minérales qui ont silicifié le remplissage et déposé sur les parois des fentes le minerai proprement dit.

Les raisons qui nous font admettre ces trois étapes successives sont les suivantes. L'allure des filons rhyolithiques verticaux tranche trop nettement sur celle des nappes rhyolithiques horizontales pour que nous puissions regarder le remplissage de ces filons comme résultant d'une simple transformation de la roche encaissante sous l'action d'eaux minérales circulant dans des fentes étroites : on n'y trouve, en effet, aucune trace de la stratification presque horizontale de la roche encaissante; on n'y observe nulle part un passage graduel à cette roche, indiquant une action métamorphique; enfin la nature du remplissage est la même dans les filons rhyolithiques stériles, contenant à peine quelques veinules de quartz, que dans ceux qui présentent, comme le filon Carmen, unè zone quartzeuse parfaitement nette. D'un autre côté, le remplissage des filons rhyolithiques ne nous paraît pas consister simplement en débris de la roche encaissante; sans être absolument affirmatif sur ce point, nous sommes

porté à croire plutôt à une deuxième éruption rhyolithique qui, dans les fentes largement ouvertes, remplies d'eaux superficielles et souterraines, aurait produit les tufs du remplissage.

En ce qui concerne les veines de quartz aurifère, ce ne sont pas, à nos yeux, de simples veines de sécrétion, remplies par les eaux suintant des parois des fentes. On constate en effet qu'au voisinage du quartz le tuf rhyolithique est fortement imprégné de quartz et de pyrite de fer non altérée. Si le minerai proprement dit résultait du lessivage de la roche qui l'encaisse, c'est-à-dire du tuf rhyolithique qui forme le remplissage principal du filon, la pyrite de ce tuf aurait été décomposée et enlevée. Nous regardons, en conséquence, comme infiniment plus probable que des sources minérales siliceuses et sulfureuses ont jailli par des fentes ouvertes dans le remplissage rhyolithique des filons, qu'elles ont imprégné ce remplissage de quartz et de pyrite de fer et déposé sur les parois des fentes le minerai aurifère proprement dit. L'action des sources minérales dans les fentes paraît d'ailleurs s'être continuée pendant un temps assez long; les *llampos* aurifères contenus dans les cavités du quartz sont évidemment le résidu ocreux et pulvérulent d'une dissolution chimique. Nous sommes portés à penser que les matières enlevées par cette dissolution étaient principalement pyriteuses, et qu'en profondeur le *llampo* serait en majeure partie remplacé par de la pyrite aurifère.

SUR UN NOUVEAU PROCÉDÉ
DE
FORMATION DE CHAMBRES DE MINES
DANS LE ROC

Par MM. WICKERSHEIMER, ingénieur des mines,
et PECH, capitaine du génie.

Nous ferons précéder la description de ce procédé d'une étude sommaire sur les procédés actuellement en usage dans le sautage des roches.

CHAPITRE I.

ÉTUDE SUR LES PROCÉDÉS DE SAUTAGE DES ROCHES

Les travaux au rocher ont pour but, soit l'extraction de matières minérales (matériaux de construction ou minerais) soit l'ouverture de voies de communication par le moyen de tranchées ou de souterrains. On y distingue deux opérations principales.

La première consiste à percer, à l'aide d'outils appropriés, des trous de mine appelés encore *forages*. La seconde, à placer au fond de ces vides des corps explosifs

auxquels le feu est ensuite mis, pour obtenir le sautage de la roche.

Nous ne nous occuperons ici que de la première de ces deux opérations.

Les outils de forage se divisent en deux classes, selon qu'ils agissent par la percussion ou par le frottement. Dans le premier cas, l'avancement de l'outil résulte de la désagrégation de la roche par une suite de chocs très rapprochés, et, dans le second, par la rotation qui en produit l'usure d'une manière continue.

Tous les outils à percussion se ramènent à un seul type : une barre de fer terminée par un tranchant en acier trempé. Elle prend, suivant sa dimension, le nom de fleuret ou de barre à mine. L'ouvrier tient d'une main le fleuret appliqué contre le rocher et, de l'autre, il assène sur sa tête des coups de massette, sorte de gros marteau en fer. La barre à mine est un fleuret de grande longueur agissant par sa seule masse, et qui est manœuvré comme une sonde.

La vitesse de l'avancement d'un trou de mine dépend d'un grand nombre de conditions, parmi lesquelles on distingue les suivantes : 1° son emplacement et sa direction ; 2° son diamètre ; 3° sa profondeur ; 4° la nature de la roche.

1° *Direction et emplacement*. La direction et la position les plus avantageuses sont celles où le forage est ascendant. Le seul effort consiste alors à imprimer à la massette un mouvement pendulaire qui permet le plus grand nombre de chocs dans un temps donné. En outre, la poussière et les éclats tombant spontanément après chaque coup, le tranchant est constamment appliqué contre la roche nue.

La direction descendante est encore favorable, mais celle horizontale doit être évitée, autant que possible, surtout lorsque le trou est à la hauteur de la ceinture.

2° *Diamètre du trou.* Dans le travail à la main, les dimensions du tranchant ne dépassent guère 0m,05 à 0m,06; au delà l'outil, en raison de son poids, ne conserve plus sa direction. Dans ces limites on peut admettre que l'avancement est à peu près inversement proportionnel au diamètre.

3° *Profondeur.* La vitesse d'avancement décroît rapidement avec la profondeur; aussi le prix du mètre courant de forage augmente-t-il à chaque mètre d'approfondissement.

4° *Nature de la roche.* Si la roche est hétérogène, soit qu'elle présente des délits ou des veines de dureté variable, l'outil est fréquemment exposé à se coincer, d'où une perte de temps et un supplément de travail pour le retirer.

Si la roche est trop aquifère, il y a de la difficulté à forer les trous descendants ou de direction sensiblement horizontale, parce que la poussière détachée s'imbibe d'eau avec laquelle elle forme une espèce de ciment qui empâte le tranchant de l'outil.

Enfin, la dureté et la compacité de la roche jouent un grand rôle dans la question. Suivant leur degré, la vitesse d'avancement peut varier dans des proportions énormes. Il en est de même du poids d'explosif employé pour faire le sautage.

Les traités renferment, à cet égard, des tableaux plus ou moins incomplets, mais qui suffisent à guider l'ingénieur dans la plupart des cas.

Machines perforatrices à percussion. — La nécessité de percer d'immenses souterrains pour faire passer des chemins de fer sous les grandes chaînes de montagnes et, en outre, la présence de roches extra-dures qu'on y rencontre, ont mis les ingénieurs dans l'obligation de substituer le travail mécanique au travail manuel à l'aide

duquel il devenait impossible de terminer, dans un temps raisonnable, ces grands ouvrages rendus nécessaires par les progrès des relations commerciales.

L'opérateur, dans ce cas, prend le nom de *machine perforatrice* ou, simplement, *perforatrice*. On emploie comme moteur la vapeur, l'air ou l'eau comprimé, et même l'électricité dont le rôle ne fait que commencer.

Une perforatrice se compose sommairement d'un cylindre ou corps de pompe dans lequel se meut un piston armé d'un fleuret animé ainsi d'un mouvement de rotation autour de son axe. Le piston transmet le choc du fluide qui sert d'intermédiaire à la force motrice et l'appareil tout entier avance automatiquement. Il en résulte que, pendant la perforation, la distance de l'appareil au fond du trou reste constante, quelle que soit la vitesse d'avancement. On remplace le fleuret ou *burin* lorsqu'il est usé ou que l'appareil est arrivé à l'extrémité de sa course.

Il y a un très grand nombre de systèmes de perforatrices. Notre but n'est pas d'en donner la description, mais de donner simplement quelques aperçus sur celles qui paraissent les plus utiles à l'objet que nous avons en vue.

Nous citerons les perforatrices *Ferroux* et *Mac-Kean*, pour leur puissance et leur emploi avantageux dans les roches dures.

Dans quelques mines françaises on a adopté l'appareil *Dubois* et *François*, modifié. Un dérivé de ce type, le perforateur Mailliet, paraît donner de bons résultats.

Une observation générale à faire sur l'emploi de toutes ces machines, c'est que le prix de revient élevé du travail qu'elles fournissent tient aux coincements fréquents des fleurets et à la détérioration du mécanisme sous l'action des poussières et des vibrations dues aux chocs.

On évite les coincements en employant des machines

puissantes, mais la détérioration rapide de la machine paraît une conséquence inévitable de ce travail, très peu satisfaisant au point de vue mécanique.

Les perforatrices qui travaillent simultanément au front de taille d'une galerie sont placées sur un affût, lequel, constituant leur point d'appui, est aussi lourd que possible. On peut augmenter sa stabilité en le reliant aux rails sur lesquels il est placé, par le moyen des freins.

Certains appareils, celui de *Burton*, par exemple, sont fixés à l'aide de colonnes horizontales ou verticales pressées à l'aide de vis contre les parois de la galerie. Les perforateurs se relient à ces pièces à l'aide de colliers ou de vis de serrage.

Grâce à cette disposition, on peut faire des trous dans toutes les directions. La fixité du mécanisme n'est cependant pas complète, car la trépidation due aux chocs incessamment répétés produit le desserrage des vis dans leurs écrous.

Il faut ajouter que la mise en place de cet appareil est plus longue que pour ceux qui sont portés par un affût.

Perforatrices à rotation. — Le travail consiste ici dans une espèce de rodage de la roche et, à cet effet, l'outil porte une tête qui doit être très dure, acier trempé ou diamant.

Le mouvement de rotation peut être donné à la main ou mécaniquement. Ces moteurs sont d'ordinaire très légers. Un des plus curieux est celui qui actionne la tarière *Taverdon* et, avec une force de trois chevaux, lui fait faire de 2 à 3.000 tours à la minute.

La tête est généralement appuyée contre le roc par une pression hydraulique, de manière à ce que l'avancement suive exactement l'usure de la roche. Il y a d'autres cas

où l'avancement est automatique, ce qui est une gêne dans les roches hétérogènes.

Lorsque la tête est en acier, elle a la forme d'une tarière et quelquefois d'une couronne garnie de dents.

Nous allons passer en revue quelques-unes de ces machines.

Perforatrice Brandt. — La tête est en acier durci et grossièrement dentée. L'outil est appliqué contre la roche sous l'action de l'eau comprimée. La pression varie avec la dureté de la roche et atteint jusqu'à 120 atmosphères pour le granit.

Machine à galets coupants de Brunton. — La tête unie frotte contre des galets de $0^m,15$ de diamètre interposés entre elle et la roche. Ces galets, entraînés par le mouvement de rotation de la tige, procèdent par écrasement. On les remplace quelquefois par des sphères en fonte de 1/4 de millimètre de diamètre. Il se produit alors un rodage analogue à celui qui produit le sciage des marbres et l'outil pénètre d'une façon continue.

Ces perforatrices, construites sur un grand modèle, sont devenues les machines *Beaumont* et *Brunton*, employées au percement d'un tunnel sous la Manche.

Dans la machine du colonel *Beaumont*, la tige porte un disque en acier où sont implantés des couteaux inclinés sur les rayons qui partent de son centre. Ce disque est animé d'un mouvement de rotation autour de son axe et est appuyé contre la roche par la pression hydraulique. Les débris pulvérulents tombent dans un cylindre et sont entraînés par une espèce de vis d'Archimède dans un réservoir où une chaîne à godets les prend pour les déverser dans des wagonnets situés en arrière.

Dans la machine *Brunton* les couteaux du disque sont remplacés par des molettes; les débris de la roche

tombent sur une toile sans fin qui les conduit dans des wagonnets.

Perforatrices à diamants. — Ces appareils sont les plus remarquables du genre. La tête en acier est garnie de petites rainures, obliques au rayon, dans lesquelles les diamants sont enfoncés sous une pression hydraulique énorme. Dans les premiers appareils, on sertissait le diamant dans une garniture en cuivre rouge qui remplissait les rainures.

La dureté du diamant, ainsi que la vitesse de rotation considérable imprimée à la tige (2 à 3.000 tours à la minute), permettent d'attaquer les roches les plus dures.

Avantages et inconvénients de la perforation mécanique. — Lorsqu'on compare ce travail au travail à la main, on trouve les avantages suivants :

1° La vitesse de perforation est beaucoup plus grande ;

2° Le diamètre et la profondeur des trous peuvent être considérablement augmentés ;

3° On peut percer simultanément un grand nombre de trous de mine.

A ces avantages on peut, il est vrai, opposer les inconvénients suivants :

1° L'installation est coûteuse à cause du prix élevé des appareils ;

2° Le prix de revient est plus élevé qu'à la main.

Comparons actuellement les perforatrices à percussion et celles à rotation.

Les premières donnent des résultats satisfaisants avec un prix de revient moins élevé que les autres, mais elles présentent les inconvénients suivants :

1° Elles sont lourdes et, par conséquent, peu maniables ;

2° Le tranchant du fleuret s'use vite et irrégulièrement. Ce dernier effet cause des variations dans le diamètre ;

3° Le même appareil ne peut servir avec des roches différentes. Une machine trop forte pour la roche occasionne une dépense de force inutile ; si elle est trop faible, les coincements se multiplient ;

4° L'usure des fleurets varie considérablement avec la nature de la roche, d'où une grande complication dans l'assortiment des burins. Telle volée n'en exige que 40 à 50, telle autre 150 à 200.

5° Lorsque la roche est très dure, l'avancement diminue très rapidement avec la profondeur du forage.

Les perforatrices à rotation ne sont pas encore très répandues à cause du prix de revient élevé du travail.

La dépense tient aux deux causes suivantes :

1° Lorsque le sertissage n'est pas excellent, les diamants se détachent au fond du trou et amènent rapidement la destruction de la couronne ;

2° Lorsque ce sertissage est à peu près parfait, comme dans l'appareil *Taverdon*, le diamant se clive et les débris de cette substance agissent comme dans le premier cas. L'effet est surtout sensible, lorsque, dans la roche, on passe d'une partie tendre à une partie dure.

Ces défauts sont d'autant plus regrettables que les appareils de ce genre présentent des avantages nombreux :

1° Ils sont peu encombrants et très maniables ;

2° La vitesse d'avancement est plus grande qu'avec un appareil à percussion ;

3° Ils attaquent toutes les roches, même les plus dures et les plus fendillées ;

4° Leur direction est toujours bien assurée ;

5° On peut donner aux forages des dimensions à peu près quelconques ;

6° Le noyau intérieur qu'on retire, après le forage, donne des indications précises sur la nature du terrain

traversé, considération importante quand il s'agit d'employer des chambres de mine ;

7° Le travail se fait sans bruit ;

8° Enfin, la force motrice est bien utilisée. Ainsi, par exemple, une force de 3 à 4 chevaux suffit pour actionner l'appareil *Taverdon*.

Prix de revient. — Ce prix varie beaucoup selon les conditions dans lesquelles on se trouve placé ; nous nous bornerons à citer quelques exemples.

En France on n'emploie guère que les perforatrices à percussion, sauf pour quelques sondages.

A Anzin (*), dans les années 1874 à 1875, le prix du mètre courant a varié entre $0^f,70$ et $2^f,75$.

A Bessèges et à Trelys, il revient à 3 francs environ.

Dans les mines de plomb de Vialas, des perforateurs Mailliet neufs, mus par l'air comprimé, ont donné des résultats plus avantageux : le mètre revient à $1^f,60$ environ, et cependant la roche traversée est du micachiste.

Dans ces estimations ne sont compris ni l'usure du matériel ni l'intérêt des capitaux engagés.

Nous avons dit que les perforatrices au diamant étaient peu employées en France ; il est donc difficile de donner des chiffres précis en ce qui concerne notre pays.

Des personnes qui ont essayé l'appareil Taverdon, estiment que le prix de revient est le double de la perforation à la main.

M. Sauvage, ingénieur des mines, a donné dans les *Annales* (**) les résultats obtenus en Californie dans une galerie de section carrée de $2^m,10$ de côté. Le prix du mètre de forage s'est élevé à $10^f,80$, tout compris (***).

(*) On y avait fait les premiers essais en 1868 ; voir le Mémoire de M. Pernolet, *Annales des mines*, 7e sér., t. I.

(**) *Annales des mines*, 7e sér., t. VII.

(***) La force est de 10 à 12 chevaux.

Il est difficile, faute de renseignements suffisants, d'en conclure le prix de revient en France, dans des conditions analogues. Nous ferons simplement remarquer que le remplacement des diamants grève le prix du mètre courant d'un franc environ.

Vitesse de la perforation. — Au Saint-Gothard, un perforateur *Ferroux* perçait, en moyenne, 1 mètre par heure, les volées ayant 1m,30 de profondeur.

A l'Arlberg on a obtenu, pendant le premier trimestre de 1882, un avancement journalier moyen de 4m,80 avec l'appareil Ferroux; la moyenne au Saint-Gothard était de 4m,197 avec le même appareil. L'augmentation est donc de 14 p. 100. Ce qui correspond à 1m,14 d'avancement moyen par heure.

Avec les perforatrices au diamant la vitesse est bien plus grande ; dans les roches extra-dures que mentionne le rapport précité de M. Sauvage (*), elle a été de 1m,80 par heure.

CHAPITRE II.

CHAMBRES DE MINE.

L'explosif introduit dans un trou de mine n'occupe que le tiers ou le quart de la longueur, à partir du fond ; le reste est occupé par le bourrage tassé par-dessus. A cause de la section restreinte de ces trous, l'explosif ne forme donc jamais une grande masse, et l'on s'interdit ainsi de puissants effets de dislocation dans les roches.

C'est pourquoi on a cherché à augmenter le logement

(*) Voir *Ann. des mines*, 7e sér, t. XVI : Sondage au diamant à Neuville.

de l'explosif, sans toucher au reste du forage, et à augmenter ainsi l'effet utile du trou de mine dans la proportion où a augmenté le volume lui-même de l'explosif. Les cavités de ce genre portent le nom de *chambres de mine*.

On doit à M. *Courbebaisse*, ingénieur en chef des ponts et chaussées, le premier procédé de formation de chambres de mine. Ce procédé (découvert en 1855), qui consiste dans l'emploi des acides pour l'agrandissement du fond des forages par dissolution, n'est applicable qu'aux roches en calcaire assez pur et avec des forages fortement inclinés de haut en bas. Il ne peut donc, en tous cas, être employé dans les galeries.

La découverte de la dynamite a permis d'essayer un autre procédé qui consiste à charger le fond d'un forage par des détonations successives de cet explosif, dont la rapide conflagration a pour effet de comprimer ou de pulvériser la roche autour de l'espace qu'il occupe.

Ce procédé, lent et coûteux, ne réussit d'ailleurs que très rarement et d'une manière pour ainsi dire accidentelle. Et d'ailleurs, même dans le cas de réussite, on ne peut prévoir quel sera le volume du vide produit. Il ne constitue donc pas une méthode proprement dite.

Le procédé dont nous allons donner la description, réalise un progrès notable sur ceux dont nous venons de parler. Il permet de réaliser méthodiquement la formation de chambre de mine dans des roches absolument quelconques.

La description que nous donnons (*) suit l'ordre histo-

(*) Ce procédé a été déjà énoncé succinctement au nom de M. le capitaine Pech, l'un des deux auteurs, par M. Haton de la Goupillière (*Cours d'exploitation des mines*, t. I, p. 180, Paris, 1883).

rique de nos essais et nous la conduirons aux derniers perfectionnements où nous sommes arrivés.

Nouveau procédé de formation de chambre de mine. — Soient deux trous de mine A et B (Pl. XIII, *fig.* 2 et 3) voisins, parallèles et de même profondeur. Supposons qu'on charge B, qu'on le bourre légèrement et qu'on donne le feu, A restant vide.

La cloison séparative — si elle est assez mince — est pulvérisée sur toute la hauteur de la charge. Au-dessus, les forages restent intacts, l'effet de l'explosion étant purement local, tandis que les débris de la cloison sont en partie rejetés en A, en partie expulsés par le trou resté libre. Les débris pulvérulents non expulsés seront retirés comme il sera dit plus loin. Imaginons, pour le moment, l'opération terminée ; on pourra charger un troisième forage C, parallèle aux deux autres. Une explosion faite dans les mêmes conditions que la précédente détruira la partie ABC sur toute la hauteur de la chambre déjà obtenue. On comprend dès lors comment on peut agrandir successivement le vide primitif.

Ordre des opérations. — Quand on se trouvera en présence d'une roche inconnue et que l'on voudra préparer des chambres de mines à l'aide de ce procédé, il conviendra de passer par la série des opérations suivantes :

1° Déterminer les distances relatives à donner aux forages, leur diamètre étant donné ;

2° Forer un certain nombre de trous de mine A, B, C, régulièrement disposés dans la portion de roche à enlever ;

3° Faire éclater, à la dynamite, sur une longueur convenable, la cloison séparatrice de deux trous A et B.

4° Retirer les débris de cette explosion ;

5° Faire détoner une charge contenue dans un forage C, voisin de la cavité ainsi produite ;

6° Retirer les débris de cette seconde explosion;

7° Continuer l'opération en utilisant successivement tous les forages.

Dans la pratique, il convient de distinguer deux cas, selon que les forages sont horizontaux ou verticaux.

Forages horizontaux. — 1° Détermination des distances des forages. Nous supposons, bien entendu, que l'explosif reste le même.

Dans une première série d'opérations, on opérera avec des diamètres et des longueurs de charges constantes (il s'agit ici et dans ce qui suit du diamètre au fond du forage). On rapprochera les trous jusqu'à ce que les ruptures soient bien nettes.

Une deuxième série d'essais portera sur le diamètre et une troisième sur la charge. On connaîtra aussi les conditions les plus avantageuses. En pratique on se contentera de la première série d'essais : toutes les fois qu'on voudra adopter d'autres dimensions on se laissera guider par les résultats déjà connus.

Citons quelques chiffres déduits de nos expériences. Forages de $0^m,03$ de diamètre. Charges de 330 grammes de dynamite n° 1. La hauteur de la chambre entre les forages A et B a été de $0^m,55$.

Dans les roches dites de premier ordre : quartz, porphyres, granites durs et quartzeux, filons quartzeux, l'épaisseur de la cloison peut varier entre $0^m,05$ et $0^m,07$; et le vide dû à une explosion peut contenir $2^k,500$ à 3 kilogrammes de dynamite.

Dans les roches de seconde dureté, telles que grès et poudingues quartzeux, granites ordinaires, la cloison peut varier entre $0^m,08$ et $0^m,10$; la capacité de la chambre entre $3^k,4$ et 4 kilogrammes de dynamite.

Dans les schistes dévoniens les plus compacts de la *Montagne-Noire*, on arrive à $0^m,14$ de cloison, et dans les grès durs de *Carcassonne* à $0^m,18$.

Dans les roches dures les forages seront disposés comme il est indiqué (*fig.* 2). Dans les roches plus tendres, ces positions relatives amèneraient la formation d'entonnoirs incomplets (*fig.* 4); la figure 5 indique alors les dispositions qu'il faut adopter.

2° *Forage des trous de mine.* Il est absolument indispensable de placer les trous dans la position que nous venons d'indiquer, si l'on veut éviter les pertes de temps et d'explosif ou ne pas s'exposer même à un insuccès.

Il conviendra de guider les fleurets pour conserver aux trous une direction constante, et c'est une des raisons pour lesquelles la perforation mécanique est nécessaire pour l'application de notre procédé.

3° *Première explosion.* Elle se fera comme il a été dit plus haut.

4° *Extraction des débris.* Cette opération se fait à l'aide d'une pompe qui aspire l'eau dans un réservoir et la projette contre le fond du forage B par un tube en métal de $0^{m},01$ de diamètre qui en occupe toute la longueur, relié par un tube flexible au refoulement.

5° *Deuxième explosion.* Elle se fait exactement comme la première ; le trou C est resté intact dans la première explosion, la distance C B (*fig.* 2) étant plus grande que B A.

6° *Extraction des débris.* Les forages A et B ayant été nettoyés par un jet d'eau, on achèvera l'opération à l'aide d'un tube recourbé au bout, pour donner un jet latéral qui achèvera la destruction des cloisons peu consistantes qui ont pu se former aux dépens des matériaux broyés A B et C et que le jet rectiligne ne peut atteindre.

Opérations accidentelles. — 1° Si la première opération n'a pas réussi à casser la cloison entre A et B, on procède immédiatement à une seconde explosion ; la perte de temps est insignifiante ;

2° La rupture incomplète de la cloison est un insuccès relatif plus difficile à réparer. Il faut alors accumuler l'explosif en face de la partie non détruite, bourrer complètement la chambre et donner le feu.

3° Les débris sont trop gros pour passer par les forages. Il faudra les broyer préalablement, opération facile parce qu'ils sont, en quelque sorte, calcinés.

Forages verticaux. — La seule opération qui exige de nouvelles précautions, est l'enlèvement des débris non expulsés par l'explosion.

A cet effet, on se servira d'une pompe aspirante et foulante munie d'un appareil à renversement de courant. Sur le tuyau d'aspiration est fixé un réservoir fermant hermétiquement.

Supposons, par exemple, que l'on ait à vider la poche faite entre A et B (Pl. XIII, *fig.* 2 et 3). Dans le forage A, on introduit un tube en cuivre communiquant avec le tuyau d'aspiration de la pompe et dans B un autre tube qui communique avec le refoulement.

Tout le système ayant été préalablement rempli d'eau, on met la pompe en mouvement. Le liquide aspiré en A entraîne les débris qui se déposent dans le réservoir dont il vient d'être question et passe ensuite dans le corps de pompe qui le refoule en B.

Quand le tuyau d'aspiration s'engorge, on renverse le courant, en prenant la précaution de maintenir le tube de B à une certaine hauteur au-dessus des débris.

On recommence la première opération dès que le dégorgement s'est opéré.

Signalons, à ce propos, quelques dispositions à recommander :

1° On fera le forage par lequel l'aspiration doit se produire plus profond que les autres ; de cette façon la chambre se terminera par une sorte de plan incliné qui

facilitera la marche des débris vers le point où ils doivent être extraits.

2° Ce forage sera également d'un diamètre plus grand; la masse d'eau en mouvement sera ainsi plus grande et les gros débris seront mieux entraînés.

3° Il est bon, en outre, de boucher hermétiquement la chambre, quoique cette opération soit généralement inutile. Voici la disposition que nous avons adoptée à cet effet.

L'appareil se compose d'un manchon M en cuivre, muni, en son milieu, d'une tubulure latérale T. L'extrémité inférieure est munie de rebords pour maintenir deux tampons en étoupe qu'on introduit entre le manchon et le forage. L'extrémité supérieure est terminée par un tuyau en forte toile flexible terminé par une garniture en laiton formant écrou. Dans cet écrou on visse un renflement fileté que porte le tube d'aspiration en cuivre mince. L'extrémité supérieure de ce tube peut être, soit fermée par un bouchon à vis, soit reliée, à volonté, avec l'aspiration ou le refoulement de la pompe.

Supposons qu'on veuille vider la chambre entre A B et C après l'explosion de C (*fig.* 2). Dans chacun des trous on placera un manchon muni de ses tampons; on achèvera de rendre la fermeture hermétique en coulant dessus une couche de plâtre gâché. On mettra en place les tubes en les vissant au manchon. La chambre ne communique plus alors au dehors que par les tubes intérieurs et les tubulures T.

Si c'est le forage A qu'on veut dégager, on y relie le tube intérieur à l'aspiration et la tubulure T au refoulement de la pompe; les tubes des trous B et C étant fermés par les bouchons à vis, les débris sortent par le tube intérieur de A et l'eau pénètre dans la chambre par l'espace annulaire entre ce tube et son manchon.

On pourrait aussi aspirer par la tubulure du manchon

et refouler par le tube intérieur. Enfin, si la cohésion des débris est trop forte on fera bien, comme il a déjà été dit, de terminer le tube en cuivre par un bec recourbé.

Un engorgement vient-il à se produire dans le tube d'aspiration? On en est averti par une résistance considérable dans la manœuvre de la pompe. On élèvera alors les tubes au-dessus des débris, on renversera le sens du courant et, le dégagement effectué, on recommencera l'opération en procédant d'abord avec beaucoup de précautions.

Applications. — L'application des chambres de mine aux carrières n'exige aucune explication nouvelle.

Leur principale application se trouvera d'ailleurs dans les galeries, à cause de la rapidité avec laquelle ce procédé permet d'obtenir l'avancement. Cette rapidité tient surtout à l'emploi de fortes charges dans les chambres permettant de réduire au minimum le nombre des forages au front de taille.

Nous donnons ci-dessous les charges à donner aux chambres pour éventrer la roche sans laisser de culot dans les forages des chambres.

Charge	de 2k,300	dynamite-gomme	pour une profondeur	de 1m,10
—	de 3	—	—	de 1 ,30
—	de 4 ,200	—	—	de 1 ,50
—	de 8 à 9k	—	—	de 2 ,10

Dans les mêmes circonstances, la dynamite n° 1 donne des effets notablement inférieurs à ceux de la dynamite-gomme.

Quand on passe aux roches de seconde dureté, le poids de l'explosif devient sensiblement moindre. Ainsi dans des schistes dévoniens très compacts, 2k,500 de dynamite n° 1 ont suffi pour une profondeur de 2m,20.

La description des tâtonnements nombreux auxquels

nous nous sommes livrés serait longue et fastidieuse. Nous nous bornerons à décrire les méthodes auxquelles nous nous sommes arrêtés :

1° *Méthode des chambres distinctes.* La figure 6 montre la disposition adoptée dans une galerie ayant 2m,25 de hauteur et 3m,00 de largeur au maximum.

Le nombre de forages à faire par volée n'est que de 7.

Les trous conjugués 1-2, 3-4 sont destinés aux deux chambres. La chambre 1-2 contiendra la charge d'éventrement; celle 3-4 une charge moindre pour achever la sous-cave.

La hauteur de la galerie oblige à prendre des volées de 2m,50 de profondeur. Dans ces conditions la charge d'éventrement sera de 10 à 11 kilogrammes de dynamite-gomme.

On fera partir successivement 1-2, puis 3-4, puis on passe aux trous de couronne.

La chambre 1-2 pourra être faite soit avec trois trous de 0m,04 de diamètre, soit avec deux trous de 0m,06. Cette dernière disposition est préférable à cause de sa simplicité, mais exclut l'emploi de la perforation à la main.

2° *Méthode de la chambre unique.* La disposition des trous est celle de la figure 7.

On donne le feu simultanément à la chambre 1-2 et aux trous latéraux 3 et 4. Ces derniers laissent alors des culots, tandis que la chambre part à fond. On débarrasse les culots de la poussière qui peut les obstruer et on les charge en même temps que les trous 5, 6 et 7. A la deuxième volée on donne le feu dans l'ordre suivant : 6, 5, 7, puis culots 3 et 4.

Avantages de ce procédé. — Dans le procédé ordinaire de perforation mécanique on place un grand nombre de trous dans le front de taille.

La disposition (*fig.* 8) était appliquée aux galeries de direction du Saint-Gothard.

Les trous avaient 1^{m},50 de profondeur. Ceux 1, 2, 3, 4, très voisins et un peu convergents, partaient simultanément, autant que possible. On avait pour but de former ainsi une espèce de sous-cave tronc-conique. Les culots étaient alors rechargés, ainsi que les trous 5-16 et on leur donnait le feu, l'ordre de départ étant 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 15, 16, 14, 12, 13. Enfin, on utilisait les coups de relevage toujours plus nombreux qu'il n'est nécessaire. L'important est, en effet, que dans cette partie, très difficile à enlever, les coups partent à fond. Cette méthode est assez rapide, mais très coûteuse, chaque trou laissant, en moyenne, 0^{m},25 de culot.

On opère plus économiquement en provoquant, par des explosions, la formation d'une sous-cave inférieure, dans laquelle on fait ensuite détoner les trous, en s'éloignant successivement. Par contre, le temps consacré au tir est plus long que dans l'autre méthode.

Le grand vice des deux procédés est qu'il faut souvent recharger plusieurs fois les culots pour former une sous-cave et même, lorsqu'elle est bien formée, les explosions des trous suivants laissant encore des culots.

Ainsi, dans le travail ordinaire de la perforation mécanique, on est amené à percer un grand nombre de trous dans le front de taille et les petites charges qu'on y met sont insuffisantes pour casser complètement le rocher lorsque le fourneau tronc-conique ou la sous-cave ne sont pas bien formés, ce qui est le cas ordinaire.

Les trous placés dans le voisinage de la sous-cave travaillent par écrasement, dans une roche presque intacte et, par conséquent, d'une façon désavantageuse.

En résumé, l'utilisation des forages ainsi que de l'explosif est très imparfaite.

Le tableau suivant donne quelques nombres choisis comme exemples de ce mode de travail.

LOCALITÉ.	DIMENSIONS de la galerie.	NATURE de la roche.	NOMBRE de trous par volée.	LONGUEUR des culots.	DÉPENSE D'EXPLOSIF par mètre courant.
Saint-Gothard. . . .	6^{m2}	Granite et micaschiste	18 à 20	$0^m,20$	26 kilog. de dynamite n° 1 ou 19 kil. de dynamite-gomme.
Verzzanova (Corse.)	Id.	Granite	15 à 18	Inconnue	10 kilog. de dynamite-gomme.
Anzin	$2^m,30 \times 2^m$	Grès durs	24 à 25	»	40 francs en moyenne.
	»	Grès tendres	16 à 18	»	
Trelys.	»	Grès durs	26 à 30	»	50 à 60 francs en moyenne.
Bessèges (1875). . .	»	Grès très durs	24	»	68 francs.
	»	Grès durs et tendres mêlés de schistes	23	»	50 francs.
Id. (1882). . .	»	»	18 à 21	»	43 francs.
Vialas.	»	Micaschistes de moyenne dureté	16 à 21	»	30 à 120 francs.

Dans la nouvelle méthode le succès est subordonné à une bonne formation de la chambre. Ce résultat obtenu, on comprend que la dislocation produite par l'explosion en plein rocher favorise l'action des trous voisins. Or, cette dislocation ne dépend plus que de la quantité d'explosif employé, quantité qu'on pourra prendre aussi grande qu'il est nécessaire; et c'est là une des caractéristiques du procédé.

Nous avons vu que les charges d'éventrement augmentent avec la profondeur; l'augmentation des effets intérieurs en est une conséquence. Or, la distance des trous de mine à la chambre en dépend immédiatement.

Ainsi, par exemple, cette distance qui est au maximum de $1^m,30$ avec des volées de $1^m,50$, atteint $2^m,00$ quand la volée est de $2^m,50$.

On peut donc arriver à ne percer dans le front de taille que les deux trous de la chambre et les trous de parois. C'est là l'autre caractéristique du procédé.

En résumé : *Quelles que soient les dimensions d'une*

galerie, on peut toujours réduire le nombre des forages à ceux de la chambre et à ceux nécessaires pour conserver le profil. A cause de leur éloignement, ils pourront tous être faits simultanément.

Vitesse d'avancement. — Dans la pratique usuelle, le prix de revient augmente rapidement avec la vitesse d'avancement.

C'est précisément l'inverse qui a lieu avec la nouvelle méthode qui supprime les échecs dans la formation des sous-caves et les nombreux culots des trous voisins. De plus, les volées étant plus profondes, on réduit les pertes de temps pour le garage de l'affût de la perforatrice au moment du tir et pour la mise en place après le tir.

Nous évaluons à 8 mètres par jour l'avancement journalier moyen dans une galerie analogue à celle du Saint-Gothard, que nous avions prise comme type de comparaison, et en supposant qu'on emploie une perforatrice à percussion. Avec une perforatrice à rotation, la durée de la perforation sera réduite et l'avancement journalier sera plus considérable.

CHAPITRE III.

RÉSULTATS D'EXPÉRIENCES.

On conçoit qu'avant d'arriver aux résultats tels que nous venons de les exposer, il a fallu un très grand nombre d'expériences. Nous nous nous bornerons à en rapporter un certain nombre :

Expérience n° 1. — La roche était un granite quartzeux très compact. On avait projeté de percer trois trous

distants respectivement de 0m,10, 0m,16 et 0m,18. Seulement les indications ayant été mal suivies, la distance entre 1 et 2 s'est trouvée de 0m,22 ; c'est pourquoi on fit forer le trou n° 4, intermédiaire entre 1 et 2 (Voir *fig.* 9).

Pour faciliter l'enlèvement des débris, on avait fait le trou 4 ascendant et les autres descendants. Cette circonstance amena un insuccès partiel. En effet, le trou n° 4 chargé avec 500 grammes de dynamite-gomme, ayant fait explosion, la cloison entre 2 et 4 fut brisée sur 0m,70 ; tandis qu'entre 4 et 1 il se forma un culot de 0m,33. (La rupture avait eu lieu dans le voisinage de la perpendiculaire commune aux deux axes).

On fit alors partir le trou n° 3, chargé de 0k,500 de dynamite-gomme : le broiement fut complet. Malgré l'insuccès partiel dont il vient d'être question, la chambre fut suffisante pour contenir 15 kilogrammes de l'explosif employé.

Dans toutes les autres expériences, on ne s'est servi que de deux trous à cause du prix élevé des forages, qui se faisaient à la main. Il faut ajouter qu'au delà de 1m,50 de profondeur — l'expérience est aujourd'hui complète sur ce point — les ouvriers ne travaillent qu'à contre-cœur.

Les chambres étant formées à l'aide de deux trous, il suffisait de 4 kilogrammes au maximum de dynamite-gomme pour produire l'éventrement complet. C'est précisément cette série d'expériences qui nous a permis de fixer les distances à donner aux deux trous de la chambre.

Expérience n° 2 dans les grès houillers de Graissessac. — La galerie avait 2 mètres sur 2m,20. Le grès était très quartzeux. Les lits de stratification, très serrés, coupaient le front de taille suivant une direction allant de l'angle supérieur de droite au milieu de la paroi de gauche. Les

délits, peu nombreux et presque imperceptibles, leur étaient à peu près normaux. Dans cette galerie, le travail était donné à l'entreprise à 100 francs le mètre courant.

Quatre trous, 1, 2, 3, 4 (*fig.* 10) furent percés dans le plan médian; mais les ouvriers, mal surveillés, leur donnèrent des directions excentriques.

Le trou 3 était trop plongeant; le trou 4 beaucoup trop montant. La distance entre 1 et 2 était de $0^m,95$ au lieu de $0^m,75$ qui avait été fixée.

Un échec était certain dans ces conditions. C'est pourquoi on fit forer le n° 4' à $0^m,75$ du n° 3. La profondeur des trous variait de $1^m,10$ à $1^m,15$; ceux de la chambre (2-3) avaient $1^m,50$.

La chambre formée on y logea $4^k,100$ de dynamite n° 1; le trou n° 4, 500 grammes, et le trou n° 4', 330 grammes. On mit enfin 500 grammes de dynamite-gomme dans le n° 1 qui était très fortement engagé.

On soigna le bourrage et on donna simultanément le feu par l'électricité. L'effet produit mit nettement en relief la supériorité de la dynamite-gomme.

En effet, la charge centrale donna un entonnoir de $0^m,50$ de profondeur seulement; les trous supérieurs firent canon; tandis que le trou n° 1, le plus engagé, mais chargé de dynamite-gomme, détruisit le rocher sur $0^m,45$ de profondeur. En outre, une légère fissure était établie entre ce trou et la chambre.

Expérience n° 3 dans les mêmes grès. — La *fig.* 11 donne la disposition et les longueurs respectives des trous placés, comme dans l'expérience précédente, dans le plan médian de la galerie. On mit $4^k,200$ de dynamite-gomme dans la chambre, 1 kilogramme dans le trou n° 4 et 450 grammes dans le trou n° 1. Le feu fut donné par l'électricité. Le succès fut complet.

La chambre partit à fond, ainsi que le n° 1 ; les bords de l'entonnoir atteignaient les parois.

Vers le haut, l'effet s'arrêta à une mince couche de houille qui empêcha le n° 4 de partir à fond, le lit de cette couche ayant présenté une ligne de moindre résistance.

On remarquera que la charge de la chambre avait été un peu plus forte qu'il n'était nécessaire.

Expériences faites à la Roquebrou. — En ce lieu il y avait neuf tunnels à percer ; une seule tête de galerie était attaquée à la machine, partout ailleurs on travaillait à la main.

Malheureusement la machine était un perforateur Burton petit modèle, trop faible pour la roche qui était un granite porphyroïde traversé par des filons très durs. L'installation était si défectueuse que la perforation de 18 trous de $1^m,20$, durait quelquefois 28 heures.

La galerie avait environ $3^m/3^m$ et une section de $8^{m^2},40$.

Pour produire l'abatage dans de bonnes conditions, il eût fallu des trous de $2^m,50$ à 3 mètres de profondeur, tandis qu'on ne pouvait obtenir qu'avec peine $1^m,25$. Enfin, l'appareil électrique était en mauvais état. Cette circonstance nous conduisit à la méthode de deux chambres jouant successivement.

Expérience n° 4 (Voir *fig.* 12). — Les trous avaient $1^m,10$ de profondeur. La chambre formée par (2-3) reçut 2 kilogrammes de dynamite-gomme et le trou n° 1, $0^k,450$.

Le feu fut donné par l'électricité. La chambre donna un entonnoir de $0^m,85$ de profondeur. Le trou n° 1 ne produisit aucun effet, étant trop éloigné et trop plongeant.

On fora à la main le trou n° 17 à $0^m,40$ de la chambre. Il partit à fond. Il en fut de même des n°s 4, 12, 13, 15,

7, 8, 9, 10, 16, auxquels on donna le feu successivement. Mais 15, placé trop loin de 7 à 8 et trop bridé par suite de l'inclinaison des couches, laissa un culot. Il fallut alors percer le trou n° 18. Les trous de relevage 11, 6 et 4 ne donnèrent point de culot. On se décida alors à employer des chambres distinctes.

Expérience n° 5 (*fig.* 13). — 1-2 et 3-4 sont les deux chambres. La première fut chargée de 3 kilogrammes de dynamite-gomme, l'autre de 2 kilogrammes.

On mettait le feu à la première et la seconde détonait par influence. Le résultat fut une rainure de 1^m,30 de longueur dans laquelle les trous 5 et 6 cassaient à fond.

Enfin, chose remarquable, à chaque volée l'avancement était supérieur à la profondeur des trous.

Les résultats étaient aussi concluants en faveur de l'emploi de la dynamite-gomme.

Expérience n° 6. — Elle fut faite dans une galerie voisine de la précédente.

La chambre, très volumineuse, fut faite au milieu de la galerie et au niveau du sol; les forages avaient 2^m,15 de profondeur. Les trous des parois (Voir *fig.* 14) avaient 1^m,85 de profondeur. La chambre C reçut 12 kilogrammes de dynamite-gomme et les trous 1 et 2 chacun 1 kilogramme. On donna le feu par l'électricité.

L'entonnoir de la chambre fut très évasé (la charge était exagérée). Le n° 1 cassa sur 1 mètre de profondeur seulement et 2, qui était trop plongeant et trop fichant, ne produisit presque rien. Mais le 4 qu'on fit partir ensuite cassa à fond; enfin, le profil entier fut reproduit en faisant partir 3 et 5 et les culots 1 et 2.

L'avancement fut ainsi de 1^m,90; en outre, le nouveau front de taille, entièrement lissé, était soufflé dans tous les sens.

Expérience n° 7. — Mines de Thorrent. La roche était

un mélange de carbonate de fer extrêmement compact et de quartz.

Les trous 1, 2 et 3 avaient 1 mètre de profondeur, les trous 4, 5 de la chambre $1^m,50$.

La chambre avait reçu 4 kilogrammes de dynamite n° 1 et une cartouche de dynamite-gomme pour amorce. Les trous 1, 2 et 3 chacun $0^k,500$ de dynamite n° 1 et une cartouche de dynamite-gomme; ces cartouches sont de 12 au kilogramme.

La chambre avait été formée avec 580 grammes de dynamite-gomme : elle était énorme et aurait pu contenir 10 kilogrammes de dynamite au moins.

On fit l'explosion à l'aide de mèches Bickford coupées d'égale longueur : les explosions furent presque simultanées et le chantier présenta l'aspect de la *fig.* 15. Le profil de la galerie fut achevé par des coups isolés aux angles.

L'avancement total a été de $1^m,35$ et a coûté $94^f,50$ pour un travail total de cinq jours; tandis que par le procédé ordinaire d'abatage on mettait, dans la même galerie, huit jours 1/3, avec une dépense de 113 francs. L'avantage eût été plus sensible encore, au point de vue de la vitesse aussi bien que de la dépense, si l'on avait foré des trous plus profonds et si l'on avait employé l'électricité pour produire des explosions simultanées.

Nous pourrions encore multiplier les exemples. Mais ceux que nous venons de citer suffisent pour faire ressortir l'avantage de la méthode, avantages qui ne pourront être mis complètement en relief, d'ailleurs, que dans une exploitation où la perforation mécanique sera organisée dans de bonnes conditions.

Les éléments numériques que nous avons fournis suffiront alors pour guider l'ingénieur et pour lui permettre, après quelques tâtonnements, de faire donner à la méthode son maximum de rendement.

Paris, le 1er mars 1884.

DES DIMENSIONS A DONNER AUX PILIERS DES CARRIÈRES ET DES PRESSIONS AUXQUELLES LES TERRAINS SONT SOUMIS DANS LES PROFONDEURS.

Par M. TOURNAIRE, Inspecteur général des mines.

Les carrières que l'on exploite par piliers réservés sont sujettes à deux sortes de destruction.

Les unes ont pour cause la trop grande portée laissée aux plafonds des galeries et des chantiers, eu égard à la cohésion de la roche. Des plaques et croûtes s'en détachent et rendent le séjour des excavations dangereux, si l'on n'en purge le ciel avec soin, ou si on ne le soutient au moyen d'étais. Leur chute successive, qui se produit de préférence au milieu des intervalles des piliers, peut faire naître au ciel des cloches, en forme de calottes sphériques plus ou moins régulières, qui atteignent parfois d'assez larges dimensions; et lorsqu'à leur sommet elles percent dans des assises meubles, il en résulte des fontis ou remplissages d'une portion des vides par les terres coulées d'en haut, avec affaissement du sol extérieur.

L'autre mode de ruine est l'écrasement des piliers,

devenus trop faibles pour la pression qu'ils supportent. Le plus souvent ces ruines procèdent par degrés. Le plus souvent aussi les piliers, avant de céder, donnent des signes précurseurs, avertissant les exploitants et les ouvriers prudents qu'il faut déserter les chantiers du voisinage : on voit leurs parois et leurs angles se désagréger par éclats et se creuser vers le milieu de la hauteur. Mais d'autres fois la carrière s'effondre d'un seul coup tout entière ou en presque totalité, sans que le péril se soit manifesté par des indices très nets, ou assez accentués pour en avoir fait prévoir la gravité et l'imminence.

Ces catastrophes subites ne peuvent survenir que si les roches du toit sont à peu près de même constitution sur toute son étendue. Quand alors un pilier est vers la limite des conditions d'équilibre, la plupart des autres n'en sont pas éloignés, et la rupture de l'un d'eux a pour effet immédiat de transmettre un surcroît de charge aux voisins, surtout si les assises supérieures sont dépourvues de flexibilité. Les chutes peuvent se propager ainsi très rapidement et sans intermittences. La hauteur des excavations est d'ailleurs en ce cas une circonstance nuisible ; car les blocs qui tombent trouvent de grands vides pour les recevoir et ne se serrent pas de suite fortement, en arcboutant les roches non encore ébranlées au toit.

Plusieurs vastes carrières de craie ont fini de cette manière aux environs de Meudon et de Bougival. Il en a été de même, en 1880, de la carrière de tuffeau de Vieux-Ports, dans le département d'Indre-et-Loire, qui en s'abîmant a fait 26 victimes. Pourtant les piliers y avaient des largeurs qui au premier aspect auraient semblé rassurantes et ceux des crayères de Meudon et de Bougival étaient en général plus forts que ne le prescrivait l'ancien règlement administratif en vigueur dans les départements de la Seine et de Seine-et-Oise.

Mais des dimensions qui donnent pleine sécurité dans

les excavations récentes ou n'occupant qu'un espace restreint, parce que la majeure partie de la charge repose sur les masses latérales intactes, deviennent insuffisantes lorsque ces excavations ont acquis une grande étendue.

Alors en effet l'influence du soutien latéral va diminuant et tend à s'annuler, et la stabilité n'est certaine que si les piliers sont assez robustes pour porter le terrain qui est au-dessus d'eux.

Leur section doit par suite être déterminée en raison à la fois de leur résistance à la compression et de la distance verticale qui les sépare du jour. La résistance à considérer est d'ailleurs celle non point des matériaux extraits, desséchés et durcis par l'exposition à l'air, mais de la pierre contenant son humidité de carrière, qui souvent atteint la saturation ou en approche beaucoup. La différence peut être fort grande; pour certaines roches elle va à la moitié, et même au delà.

Cette nécessité de proportionner la force des piliers aux profondeurs dans les carrières destinées à une existence et à un développement durables, qui n'a guère été enseignée jusqu'ici, à notre connaissance, et que les praticiens ont très souvent méconnue, mérite d'être examinée avec attention.

Elle est évidente quand le terrain est traversé par de nombreuses fentes. Si ces fentes affectent toute sortes de sens, l'exploitation souterraine ne pourra beaucoup s'étendre sans laisser au-dessus d'elle des masses limitées soit par des plans dont les intersections se trouveraient à des niveaux plus élevés, soit par des systèmes de plans à peu près parallèles. Ces troncs, plus ou moins irréguliers, de pyramides ou ces prismes à base polygonale sont presque dépourvus de cohésion avec le reste de la roche et par conséquent ne peuvent tenir qu'à la condition de trouver leur support au milieu des vides. En général les fractures naturelles s'orientent de préférence

en chaque lieu suivant un très petit nombre de directions, de sorte qu'il suffit de la rencontre de quatre d'entre elles appartenant à deux systèmes différents pour découper dans l'épaisseur du toit un prisme manquant d'adhérence latérale.

Supposons maintenant que les bancs soient sans fracture et même sans délit, ce qui ne se réalise jamais complètement sur de grands espaces; supposons en outre que, les piliers et les roches du toit pouvant être regardés comme incompressibles et inextensibles, le plafond des vides ne prenne aucune courbure appréciable, hypothèse très favorable à la stabilité, parce qu'elle correspond à une plus égale répartition de la charge entre les appuis, et qui en beaucoup de cas d'ailleurs doit être presque vraie. Pour qu'une ruine se produise, il faudra à la fois que des piliers s'écrasent et que les roches du toit se rompent par des arrachements moléculaires, suivant les surfaces de cassure, comme ceux qui résultent des actions dites de cisaillement.

Soient : F la résistance moyenne à ce genre d'effort qu'offrent ces roches par unité de section, Φ la résistance à l'écrasement des piliers par unité de section, H l'intervalle qui existe verticalement entre l'extérieur et le ciel de la carrière, δ le poids moyen par mètre cube du terrain supporté, $\frac{1}{K}$ le rapport de la section totale des piliers à la surface totale des travaux souterrains, S cette dernière surface, P son pourtour le long des parois inattaquées.

L'équilibre ne pourra se maintenir qu'autant que l'on aura

$$\frac{\Phi S}{K} + FPH > S\delta H, \quad \text{ou} \quad \frac{\Phi}{K} > \delta H - F \times \frac{PH}{S}.$$

Or le rapport $\frac{PH}{S}$ diminue, et par suite le dernier terme

de cette inégalité s'amoindrit de plus en plus, quand la surface va s'agrandissant.

Tant que $\frac{\Phi}{K}$ est supérieur à δH, les piliers pouvant porter le terrain, la stabilité générale est assurée, pourvu qu'on n'ait pas donné aux galeries des largeurs excessives. Si $\frac{\Phi}{K}$ est plus petit que δH, grâce à l'effort FPH, dont la cohésion des roches est capable sur le pourtour, la carrière pourra encore à la rigueur subsister tant que sa surface n'aura pas atteint une grandeur $\sum = \frac{FPH}{\delta H - \frac{\Phi}{K}}$. Dès qu'elle l'aura dépassée, il faudra que les piliers succombent.

Posons encore $L = \frac{F}{\delta}$: L serait le maximum de longueur que pourrait avoir un prisme de la roche du toit pour rester suspendu horizontalement au-dessus du vide, sans rompre par cisaillement (ces derniers mots sont caractéristiques de la définition ; car nous faisons ici abstraction des efforts de tension et compression longitudinales, qui, en ce cas de porte-à-faux, devraient agir pour équilibrer le moment du poids de ce prisme, et qui détermineraient les premiers la rupture si la hauteur de la section adhérente n'était pas grande par rapport à L) (*). La quantité FPH des relations précédentes équivaudra précisément au poids du terrain qui recouvrira une surface PL.

(*) Supposons la section rectangulaire, avec une hauteur verticale λ, une largeur μ; admettons, comme on le fait d'ordinaire, que les tractions ou compressions soient proportionnelles aux allongements ou raccourcissements, appelons f l'effort maximum de traction ou compression par unité de section, qui s'exercera sur les bords horizontaux extrêmes, l'équilibre des

Soit ABC (Pl. XIII, *fig.* 16) le périmètre d'une carrière. Traçons intérieurement une autre ligne A'B'C', qui en soit à une distance à peu près constante et telle que la zone intermédiaire ait l'étendue PL : cette distance sera peu supérieure à L quand la carrière sera suffisamment vaste. Les piliers seront soulagés du poids du terrain compris entre les deux surfaces cylindriques qui auraient pour bases ABC et A'B'C', mais devront résister à la charge de tout le terrain renfermé dans la surface cylindrique intérieure.

Quelles sont, selon la nature de la roche, les valeurs que l'on peut attribuer à Φ et à F?

Nous avons constaté, par des expériences directes, que la résistance à la compression de la craie de Meudon complètement imbibée n'excède pas 19 kilogrammes par centimètre carré de section, que celle du tuffeau de Touraine dans les mêmes conditions va à 32 ou 35 kilogrammes (*). Delesse a trouvé des nombres compris entre 18 et 43 kilogrammes avec divers calcaires tendres du bassin parisien : il a obtenu 58 kilogrammes avec le gypse (*Annales des Mines*, 6[e] livraison de 1876). Ces résultats sont pour la craie et le gypse la moitié seulement, ou même un peu moins, pour les calcaires tendres et le tuffeau les deux tiers à peu

---

moments donnera la relation :

$$2\int_0^{\frac{\lambda}{2}} \frac{f\mu}{\frac{\lambda}{2}} h^2 dh = \frac{\delta\lambda\mu L^2}{2}, \quad \text{qui revient à} \quad \frac{f}{\delta L} = \frac{3L}{\lambda},$$

c'est-à-dire que, dans ce cas de porte à faux, si les résistances au cisaillement, à la traction et à la compression avaient la même valeur, l'effet de cisaillement ne se produirait que pour une hauteur de section égale au triple de la longueur du prisme.

(*) MM. les ingénieurs en chef Michelot, de Perrodil, Léon Durand-Claye ont bien voulu mettre à notre disposition pour ces expériences les appareils que l'Administration des Ponts et Chaussées a fait installer au Trocadéro.

près en moyenne de ceux que l'on obtient en écrasant les mêmes pierres après une longue exposition à l'air.

D'après cela, supposons des carrières assez vastes où l'on ait laissé des piliers carrés dont les côtés soient égaux à la largeur des galeries, ce qui correspond à $\frac{1}{K}=\frac{1}{4}$. Si nous évaluons à 2 la pesanteur spécifique moyenne du terrain supérieur, l'effondrement sera à craindre dans la craie dès que la profondeur au-dessous du jour sera de 24 mètres, dans les calcaires tendres des environs de Paris vers celles de 23 à 54 mètres, selon les variétés, dans le tuffeau vers celles de 40 à 44 mètres; dans le gypse la profondeur pourrait atteindre jusque vers 70 mètres.

Nous ne connaissons pas d'expériences faites sur des pierres plus dures saturées d'eau. L'humidité extérieure n'a sans doute guère d'effet sensible sur celles qui sont dépourvues de porosité, comme les porphyres, les marbres, beaucoup de granites. La craie et le tuffeau peuvent, au contraire, absorber jusqu'à 40 p. 100 de leur volume d'eau; les calcaires tendres en prennent environ 25 p. 100 (*).

(*) Les essais à l'écrasement se sont faits presque toujours sur des échantillons taillés en cubes. On peut se demander si l'on n'obtiendrait pas d'autres nombres en opérant sur des prismes dans lesquels le rapport du côté de la base à la hauteur différerait notablement de l'unité. M. l'ingénieur en chef de Perrodil a eu l'obligeance de nous communiquer les résultats inédits d'intéressantes expériences qu'il a entreprises à ce sujet, soit sur des prismes en pierre, soit sur des prismes en plâtre : les susdits rapports ont varié de $\frac{1}{2}$ à 2 pour les premiers, de $\frac{1}{5}$ à 2 pour les seconds. La conclusion qui semble, quant à présent, ressortir du travail de M. de Perrodil, est que la charge qui détermine la désagrégation d'une même matière, par des fissures visibles ou invisibles, est sensiblement indépendante de ces proportions, que cependant, ce phénomène de désagrégation

Quant aux valeurs de F, nous n'avons pas trouvé mention d'essais de rupture au cisaillement ou à l'emporte-pièce faits sur des pierres. Il est à supposer qu'elles diffèrent peu des résistances à la rupture par traction. Delesse cite quelques déterminations de ces dernières sur des échantillons de calcaires tendres parisiens. Elles n'ont atteint en moyenne que la 6ᵉ partie environ des résistances à la compression. L'*Aide-Mémoire* de M. Claudel donne des résultats d'essais semblables exécutés soit sur les mêmes roches, soit sur des roches d'autre nature, et aussi sur des briques, mortiers et ciments. Le rapport moyen est plus faible, $\frac{1}{8}$ à peu près.

Admettons que nous ayons $F = 30.000$ kilogrammes dans la craie et $F = 50.000$ kilogrammes dans le tuffeau, parfaitement homogènes et sans délits, ces nombres étant rapportés au mètre carré. Les poids du mètre cube de ces roches imbibées étant d'environ 2.000 et 1.750 kilogrammes, les quantités L plus haut définies auraient pour valeur correspondantes 15 et 29 mètres. Dans des assises ainsi exemptes de tout défaut les vides prendraient de grandes dimensions, sans aucun pilier. En leur supposant la forme carrée ou circulaire, on pourrait leur donner 60 mètres de côté ou de diamètre dans la craie et jusqu'à 116 mètres dans le tuffeau: en leur supposant la forme d'une galerie indéfinie, les largeurs limites deviendraient la moitié des précédentes.

Mais l'exagération de ces nombres est manifeste, et l'on sait bien que des vides pareils ne tiendraient pas dans des roches beaucoup plus solides. C'est que l'hypo-

---

étant produit, les échantillons de forme basse s'écroulent moins facilement que ceux de forme haute. C'est encore une cause qui, toutes choses égales d'ailleurs, rend les excavations élevées plus dangereuses.

thèse d'une complète absence de fissures ou délits sur de grandes surfaces est absolument inexacte, même pour les plus beaux bancs. Là où elle se réaliserait on pourrait tailler des monolithes de toutes dimensions, tandis que dans de belles exploitations on s'estime heureux quand on parvient à en détacher qui présentent quelques mètres en deux sens. Les valeurs pratiques à attribuer à F et à L sont donc fort au-dessous de celles qu'accuseraient les expériences faites sur de petits échantillons.

Regardons $L = 15$ comme un maximum. En appelant d les côtés ou diamètres de chambres carrées ou circulaires, c les largeurs de galeries indéfinies, les portions du poids supérieur dont les parois latérales soulageraient au plus les piliers, lorsque d excèderait 60 mètres et c 30 mètres, seraient exprimées par les rapports $\frac{60}{d}$ et $\frac{30}{c}$. Elle seraient par conséquent $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{8}$ environ lorsque d ou c seraient de 250 mètres, $\frac{1}{8}$ ou $\frac{1}{16}$ seulement lorsque d ou c seraient de 500 mètres.

De fait, même dans une catastrophe générale, la cassure ne suit pas rigoureusement le pourtour, mais va chercher les délits ou fentes préexistantes qui en sont très voisins, prenant ainsi un tracé festonné et sinueux. L'accroissement de la quantité P provenant de cette cause est loin de compenser la faiblesse des quantités F ou L, qui en résulte aussi.

Il n'est pas néanmoins impossible de retirer d'une carrière une plus forte proportion de la matière utile que ne le comporterait l'abandon de piliers calculés d'après les règles précédentes. Mais il faut alors adopter une toute autre méthode, semblable à celle qui est suivie dans les travaux de beaucoup de mines, marcher d'abord jusqu'aux extrémités du champ d'exploitation par des tailles

et galeries entre lesquelles on laisse de longs massifs présentant un grand excès de résistance, puis découper ces massifs jusqu'au point où ils commencent à montrer des indices de faiblesse, en se rabattant toujours du fond vers l'entrée ou le puits, et en laissant le terrain s'ébouler en arrière : elle exige beaucoup d'ordre et de surveillance et a pour conséquence inévitable l'affaissement du sol.

Les mêmes déductions s'appliquent évidemment aux travaux des mines, avec cette différence que, les profondeurs étant d'ordinaire beaucoup plus grandes, la capacité des piliers à soutenir le terrain pesant sur le toit est fort amoindrie. Aussi l'exploitation par piliers proprement dite, dont on a usé quelquefois, même dans les houillères, quand les chantiers étaient tout voisin de la surface, ne s'y rencontre-t-elle pas là où ils en sont descendus loin.

Supposons qu'au-dessus d'une mine la pesanteur spécifique moyenne des roches et terres soient 2,5. Leur poids total sera, pour la profondeur de 100 mètres, de 25 kilogrammes par centimètre carré, en excès sur la résistance de la craie de Meudon, même non saturée d'eau, et très probablement aussi de la plupart des houilles, pour la profondeur de 200 mètres, de 50 kilogrammes, en excès sur celle du tuffeau : à 500 mètres il atteindrait 125 kilogrammes, c'est-à-dire la résistance de bonnes pierres calcaires.

Ainsi dans les mines profondes où les travaux ont pris un développement considérable et où les assises que l'on abat ont peu de dureté, ce qui est presque le cas universel, le maintien des vides ne saurait s'obtenir par le seul moyen du délaissement d'une partie des massifs : il faut que la diminution qu'amènent les vides dans l'ensemble des pressions exercée de bas en haut contre le toit soit compensée par la résistance à la cassure des roches dont

il est composé, et, en outre, dès que cette force devient insuffisante, par des boisages, des murs ou des remblais tassés. Les fentes qui traversent à la fois tous les bancs du terrain recouvrant la mine sont d'ailleurs en général peu nombreuses, et il peut en résulter une moindre tendance au brisement du toit que si la profondeur était petite, les roches étant de même nature.

Les conséquences suivantes qui intéressent la géologie découlent encore de ces principes très simples.

Considérons à une certaine distance H du jour une section idéale faite horizontalement dans la terre. Les pressions verticales y peuvent très bien différer, et même considérablement, d'un point à un point voisin. Mais, si nous embrassons par la pensée une surface de suffisante grandeur, nous voyons que leur moyenne doit contrebalancer à très peu près le poids du terrain supérieur.

Reportons-nous, en effet, aux précédentes notations et aux relations que nous avons posées entre elles, en substituant à la quantité désignée par $\frac{\Phi}{K}$ cette valeur moyenne, que nous appellerons Ψ. La différence $\delta H - \Psi$, qu'elle soit positive ou négative, ne pourra dépasser l'expression $\frac{FPH}{S}$, ou son équivalent $\frac{\delta PLH}{S}$, sans quoi une rupture se produira.

Dans ce dernier cas, et toutes choses égales d'ailleurs, la rupture aura tendance à se faire suivant une circonférence, comme il arrive dans les effondrements ou les projections causés par les actions volcaniques, parce que le cercle est la figure qui comprend l'aire la plus grande dans le plus petit périmètre. Supposons donc une surface circulaire de rayon r : $\frac{P}{S}$ devient $\frac{2}{r}$; le rapport $\frac{\frac{FPH}{S}}{\delta H}$ devient $\frac{2L}{r}$. Attribuons à L une valeur exagérée,

qui ne pourrait convenir qu'à des roches très résistantes et sans fissures, 50 mètres par exemple. L'écart proportionnel entre δH et Ψ sera au plus de $\frac{1}{100}$ si $r = 1$ myriamètre, de $\frac{1}{1000}$ si $r = 10$ myriamètres. D'une manière absolue des cercles de pareils rayons sont énormes ; mais, si on les compare à la surface du globe, ils doivent passer pour fort petits ; car ils en sont approximativement la $\frac{1}{1.600.000}$ et la $\frac{1}{16.000}$ partie.

La croûte terrestre peut donc être regardée comme composée d'un très grand nombre d'éléments, dans chacun desquels toute tranche horizontale doit supporter à peu près exactement celles qui lui sont superposées. Si, par un phénomène interne local, les pressions souterraines viennent à éprouver pour l'un ou plusieurs de ces éléments une diminution ou un accroissement quelque peu notable, l'équilibre se rétablira aussitôt par une chute ou un soulèvement : les assises qui sont formées de matières dures et cassantes se briseront sur le pourtour ; celles qui sont de nature plastique pourront, à condition que les mouvements ne s'opèreront pas d'une manière brusque, s'étirer en ployant.

Nous avons établi nos formules en considérant des surfaces et des sections planes, mais il est facile de reconnaître que la sphéricité du globe ne les altère pas sensiblement, en raison de ses vastes dimensions.

Soient (Pl. XIII, *fig.* 17) deux sphères concentriques de rayon R et R'. Examinons les conditions d'équilibre du solide que découperait dans l'enveloppe intermédiaire une surface cylindrique de rayon r, dont l'axe AO passerait par le centre, et ne tenons compte que des efforts parallèles à AO. La résultante des pressions agissant de bas en haut sur la surface concave $m'n'$ sera $\Psi \pi r^2$. La résultante en

sens contraire des actions de la pesanteur tendant vers le centre O sera $\delta(R-R')\pi r^2$ ou $\delta H\pi r^2$. Quant à la résultante des résistances à la rupture suivant la surface cylindrique, elle aura pour expression $F2\pi rmm'$. mm' est ici un peu plus grand que H : telle serait la correction à introduire dans les formules (*). Mais tant que l'angle AOm reste petit, le rapport $\frac{mm'}{H}$ diffère très peu de l'unité : son expression exacte, en appelant α et α' les angles AOm,AOm', est $\frac{\cos\left(\frac{\alpha'-\alpha}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\alpha'+\alpha}{2}\right)}$.

Si les roches ont quelque élasticité, c'est-à-dire sont susceptibles de subir sous les efforts extérieurs de très légères déformations, cette propriété doit restreindre les inégalités de pression. Car un excès de charge en un point, en même temps qu'il y resserre les molécules dans le sens vertical, tend à y produire une petite dilatation horizontale, qui réagit sur les éléments contigus. Les liquides et les gaz renfermés dans leurs pores ou leurs fêlures ont un pareil effet, autant du moins que la pression des fluides n'est pas limitée par les issues qu'ils trouvent au dehors.

Quant aux terres plastiques, glaises et certaines marnes, il est clair qu'aux mêmes horizons l'équilibre doit sensiblement régner dans leur masse : des vides naturels ne peuvent exister au milieu d'elles, et même on doit les trouver refoulées à une plus ou moins grande dis-

(*) Rigoureusement, pour établir la moyenne Ψ, il faut ici décomposer la surface concave $m'n'$ en petits éléments non plus égaux entre eux, mais ayant des projections égales sur un plan perpendiculaire à AO. La moyenne que représente δ est, d'autre part, légèrement influencée par la diminution de l'intensité de la pesanteur dans les profondeurs de la terre.

tance de leur gisement normal dans les crevasses des roches qui les encaissent, lorsque ces crevasses ont eu à leur contact d'assez larges ouvertures.

A une suffisante profondeur les roches, même les plus dures, doivent être soumises à des pressions excédant celles qui dans nos expériences déterminent l'écrasement. Ce n'est pas à dire qu'elles doivent s'y trouver broyées; car, à l'inverse des conditions de nos expériences, les fortes pressions souterraines existent dans tous les sens.

Lors même que les travaux des hommes dépassent ces profondeurs (ce qui n'est pas encore arrivé pour les granites, les grès compactes, les porphyres, etc., car il faudrait atteindre 2.000 mètres et au delà), les vides ouverts pour le creusement des puits et des galeries ne sont point pour cela immédiatement comblés, à moins qu'on ait tenté de les pratiquer dans des bancs plastiques ou coulants. Leur remplissage entier exige, en effet, que des pierres, des fragments ou des matériaux ténus se déplacent sur des surfaces plus ou moins étendues, en cheminant vers eux à travers les masses précédemment solides; et ces mouvements ont pour antagonistes des résistances de frottement très énergiques et en partie même proportionnelles aux pressions. On voit seulement les roches se casser sur les parois des ouvertures creusées; et les boisages ou muraillements deviennent nécessaires dans des terrains qui, attaqués moins bas, auraient pu être laissés à nu.

Sans parler des sables et des argiles, les matières exploitées dans les mines, entre autre la houille, se rencontrent quelquefois à l'état broyé. Quand la charge est très grande, elles sont alors, si on ne les soutient par des boisages serrés, refoulées lentement dans les chantiers et les galeries qu'on abandonne. Ce fait a pu être observé notamment dans les travaux de Villebœuf et

dans certains quartiers de ceux de la Chazotte, exploitations appartenant toutes les deux au bassin houiller de Saint-Étienne. A Villebœuf on est, à plusieurs reprises, rentré dans des emplacements où l'on avait déjà enlevé une partie du charbon. Les anciens vides, entièrement fermés, étaient indiqués seulement par les bois qui y restaient enfouis, et l'on y pouvait reprendre des tailles productives. Les chantiers sont ordinairement chauds dans les mines de cette nature, même lorsqu'on a la précaution de ne pas laisser les voies d'air se rétrécir, et nous pensons que le travail mécanique qui opère le refoulement de la houille broyée en est une des causes.

ÉTUDE
SUR LES CABLES AÉRIENS

Par M. L. BERGER,
ancien élève de l'École nationale supérieure des mines.

La présente étude a pour objet de préciser les conditions d'établissement des câbles aériens; elle a été faite surtout en vue d'installations peu coûteuses et afin d'éviter de recourir aux plans inclinés, quelquefois dispendieux ou difficiles à aménager. Elle est suivie d'exemples d'installations satisfaisant au programme indiqué.

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DANS LE CAS DE CHARGES UNIFORMÉMENT RÉPARTIES.

Soit (*fig.* 1, Pl. XIV) un câble reliant les points A et B, qui sont distants de la longueur l dont les projections horizontale et verticale sont c et h.

Supposons ce câble tendu de telle sorte que sa tangente en B fasse avec l'horizontale l'angle v. Et soit a l'angle avec l'horizontale de la corde AB.

Nous appellerons p le poids uniformément réparti par mètre courant du câble, charge comprise.

Si nous faisons une section en un point quelconque M du câble de coordonnées x et y, l'origine étant en B, la

portion coupée AM du câble sera soumise aux forces extérieures ci-après :

1° P projection verticale de la tension T en A ;

2° Q projection horizontale de la tension T en A ;

3° L'ensemble des forces p de la partie AM ;

4° Et la tension θ en M, force tangentielle par laquelle nous remplaçons l'action de la partie restante du câble.

Cette force θ (*fig.* 2, Pl. XIV) peut se décomposer en deux forces, l'une horizontale et l'autre verticale. Si β est l'angle de la tangente en M avec l'horizontale, la composante horizontale $\theta \cos\beta$ peut s'écrire $\theta \frac{dx}{ds}$, puisque $dx = ds \cos\beta$. De même, la composante verticale $\theta \sin\beta$ peut s'écrire $\theta \frac{dy}{ds}$.

Ceci posé, les forces extérieures devant se faire équilibre, leurs projections horizontales et verticales s'annulent. On a donc :

$$\theta \frac{dx}{ds} = Q \tag{1}$$

et

$$\theta \frac{dy}{ds} = P - pAM.$$

On peut, en prolongeant l'ordonnée de M jusqu'à son intersection en M' avec la cord edu câble, confondre AM' avec AM. C'est du moins une approximation que nous accepterons.

Or,

$$AM' = AB - M'B = l - \frac{x}{\cos\alpha},$$

de sorte que nous écrirons :

$$\theta \frac{dy}{ds} = P - p\left(l - \frac{x}{\cos\alpha}\right) = P - pl + \frac{px}{\cos\alpha}, \tag{2}$$

Nous avons appelé γ l'angle avec l'horizontale de la

tangente en B. La tension t en B a donc pour composante horizontale $t \cos\gamma$ et pour composante verticale $t \sin\gamma$. On peut remarquer que

$$Q = t \cos\gamma,$$

et que

$$P = pl + t \sin\gamma,$$

ce qui permet d'écrire, comme suit, les équations (1) et (2) :

$$\theta \frac{dx}{ds} = t \cos\gamma,$$

$$\theta \frac{dy}{ds} = t \sin\gamma + \frac{px}{\cos\alpha}.$$

En ajoutant les carrés des deux membres de ces équations, on obtient :

$$\theta^2 = t^2 \cos^2\gamma + t^2 \sin^2\gamma + \frac{p^2x^2}{\cos^2\alpha} + \frac{2pt \sin\gamma}{\cos\alpha} x$$

ou

$$\theta^2 = t^2 + \frac{p^2x^2}{\cos^2\alpha} + \frac{2pt \sin\gamma}{\cos\alpha} x.$$

Si on suppose $\sin\gamma$ positif, le maximum de cette expression a lieu pour la plus grande valeur de x, c'est-à dire en A pour $x = c$. On a donc :

$$T^2 = t^2 + \frac{p^2c^2}{\cos^2\alpha} + 2pt \sin\gamma \frac{c}{\cos\alpha}.$$

Mais $\frac{c}{\cos\alpha} = l$, de sorte que

$$T^2 = t^2 + p^2l^2 + 2ptl \sin\gamma$$

ou

$$T^2 = t^2 + pl(pl + 2t \sin\gamma). \quad (3)$$

D'autre part, en prenant les moments des forces en jeu par rapport au point A, et remarquant que le bras de levier de la force t est égal à la projection du chemin $h + c$ sur la perpendiculaire en A à la tangente au bas du

câble, on a :

$$t(h\cos\gamma - c\sin\gamma) = \frac{plc}{2}$$

ou

$$t = \frac{plc}{2(h\cos\gamma - c\sin\gamma)}. \qquad (4)$$

Les équations (3) et (4) suffisent pour la détermination de l'équarrissage du câble.

Il faudra d'abord fixer la valeur de l'angle γ, c'est-à-dire de l'inclinaison à la partie inférieure du câble. Cette inclinaison pourrait en principe être faible ou même négative. Toutefois, dans les applications qui suivront, nous supposerons, comme nous l'avons dit, qu'en vue d'éviter les contre-pentes on donne à γ une valeur positive avec minimum $\gamma = 0$.

Le poids p se compose en réalité de deux éléments : 1° le poids propre π du câble ; 2° la répartition k par unité de longueur de la charge

$$p = \pi + k.$$

On fera la substitution, en attribuant à π une première valeur choisie arbitrairement.

La relation (4) fournira la valeur de t, qui sera reportée dans l'équation (3).

On obtiendra donc la valeur de T correspondant aux données. Cette valeur de T sera comparée à la résistance du câble.

En général, pour les câbles d'extraction, on admet un coefficient de sécurité de $\frac{1}{6}$ à $\frac{1}{7}$, qui pour 1 kilogramme de mètre courant du câble, supposé en fer, conduit à une charge pratique de 1000 à 1200 kilogrammes. Pour l'acier, quand on peut compter sur la qualité du fil employé (Callon), la charge pratique peut être portée à peu près à une fois et demie celle du fer.

Lorsqu'il s'agit de câbles aériens, rien n'empêche d'admettre un coefficient de sécurité plus élevé et dont on reste juge. Suivant l'importance qu'on attache à la durée du câble et suivant l'intérêt général qu'il y a à éviter sa rupture, on pourra adopter un coefficient de sécurité s'élevant depuis $\frac{1}{7}$ jusqu'à $\frac{1}{4}$ ou même $\frac{1}{3}$.

Exemple de calcul A.

Soit (*fig.* 3, Pl. XIV) un câble destiné à relier les deux points A et B, la corde AB ayant une longueur de 100 mètres et une inclinaison de 30°.

Dans ces conditions, $h = 50^{m}$ et $c = 86{,}60$.

Soit la charge mobile formée de bennes de 400 kilogrammes, espacées de 20 mètres en 20 mètres. (La charge de 400 kilogrammes doit comprendre non seulement le poids de la benne, mais aussi celui de 20 mètres de câble de traction, si le système comporte un pareil câble.)

On aura :

$$p = \pi + \frac{400^{kg}}{20} = \pi + 20^{kg}.$$

Prenons pour π une valeur de 3 kilogrammes, ce qui donne pour p une valeur de 23 kilogrammes, et voyons d'abord quelles sont les tensions qui, avec ces données, correspondent à un angle γ nul :

$$t = \frac{23^{kg} \times 100 \times 86{,}60}{2 \times 50} = 1992^{kg},$$

et

$$T^2 = \overline{1992}^2 + \overline{23}^2 \times \overline{100}^2 = 9.258.064.$$

D'où on déduit :

$$T = 3042^{kg}.$$

Une inclinaison γ en bas du câble de 10° donnerait :

$$t = \frac{23^{kg} \times 100 \times 86{,}60}{2(50 \times 0{,}9848 - 86{,}60 \times 0{,}1736)} = 2911^{kg},$$

$$\begin{aligned} T^2 &= \overline{2911}^2 + 23 \times 100(23 \times 100 + 2 \times 2911 \times 0{,}1736) \\ &= 16.088.531, \\ T &= 4011^{kg}, \end{aligned}$$

tension très acceptable pour un câble en fer, à plus forte raison en acier.

En général, la valeur choisie arbitrairement pour π fournira des tensions soit trop élevées, soit trop faibles. On reconnaîtra, en faisant varier π, quel est le poids du câble qui satisfait le mieux au but qu'on se propose.

CHARGE MOBILE.

Dans le cas où la charge ne se composerait plus d'un certain nombre de bennes roulant sur le câble à des intervalles assez resserrés pour qu'on puisse considérer leur poids comme uniformément réparti, si par exemple le câble fonctionnait comme l'une des voies d'un plan incliné et servait de support à un train unique partant plein du sommet du câble pour arriver au bas pendant qu'un train vide en relation avec lui part du bas d'un second câble pour arriver au sommet, et *vice versa*, on pourrait alors calculer comme suit :

(*Fig.* 4, Pl. XIV). Soient μ la charge mobile et a son abscisse variable. En faisant une section en M, l'origine des coordonnées étant toujours au bas du câble, les équations de projections de la partie AM seraient :

$$\theta_1 \frac{dx}{ds} = Q = t \cos\gamma,$$

$$\theta_1 \frac{dy}{ds} = P - \pi AM - \mu = P - \pi AM' - \mu$$

ou

$$\theta_1 \frac{dy}{ds} = P - \pi\left(l - \frac{x}{\cos\alpha}\right) - \mu = t \sin\gamma + \frac{\pi x}{\cos\alpha}.$$

Car $P = \pi l + \mu + t \sin\gamma$.

En élevant au carré ces deux équations de projections, on en déduit :

$$\theta_1^2 = t^2 \cos^2\gamma + t^2 \sin^2\gamma + \frac{\pi^2 x^2}{\cos^2\alpha} + 2t\pi x \frac{\sin\gamma}{\cos\alpha}$$

ou

$$\theta_1^2 = t^2 + \frac{\pi^2 x^2}{\cos^2\alpha} + 2t\pi x \frac{\sin\gamma}{\cos\alpha}. \qquad (5)$$

Cette équation est applicable à tout point du câble compris entre la charge mobile et l'extrémité inférieure.

Pour la partie supérieure du câble comprise entre la charge mobile et le sommet A, on aurait, en faisant une section en un point quelconque :

$$\theta_2 \frac{dx}{ds} = Q = t \cos\gamma$$

et

$$\theta_2 \frac{dy}{ds} = P - \pi\left(l - \frac{x}{\cos\alpha}\right) = P - \pi l + \frac{\pi x}{\cos\alpha} = \mu + t \sin\gamma + \frac{\pi x}{\cos\alpha},$$

C'est-à-dire

$$\theta_2^2 = t^2 \cos^2\gamma + \mu^2 + t^2 \sin^2\gamma + \frac{\pi^2 x^2}{\cos^2\alpha} + 2\mu t \sin\gamma + \frac{2\mu\pi x}{\cos\alpha} + \frac{2t\pi x \sin\gamma}{\cos\alpha},$$

ou

$$\theta_2^2 = t^2 + \mu^2 + \frac{\pi^2 x^2}{\cos^2\alpha} + 2\mu t \sin\gamma + \frac{2\mu\pi x}{\cos\alpha} + \frac{2t\pi x \sin\gamma}{\cos\alpha}. \qquad (6)$$

D'autre part, l'équation des moments pris par rapport au point A fournit :

$$t(h \cos\gamma - c \sin\gamma) = \pi l \frac{c}{2} + \mu(c - a)$$

ou

$$t = \frac{\pi l c + 2\mu(c - a)}{2(h \cos\gamma - c \sin\gamma)}. \qquad (7)$$

En nous reportant aux équations (5) et (6), nous remarquerons que la valeur de θ, fournie par chacune d'elles, varie avec x, t et γ et ne dépend de a que par l'intermé-

diaire de t qui en est fonction. Nous supposerons $\sin\gamma$ toujours positif. L'équation (6) fournissant, pour une position quelconque de la charge mobile, une valeur de θ supérieure à celle de (5), c'est à l'équation (6) que nous recourrons pour déterminer l'équarrissage du câble. D'autre part, nous voyons immédiatement que, quelles que soient les valeurs de t et de γ correspondant à la position particulière de la charge mobile, le maximum de θ a toujours lieu au sommet du câble, c'est-à-dire au point dont l'abscisse x est égale à c et pour lequel on a :

$$T^2 = t^2 + \mu^2 + \pi^2 l^2 + 2\mu t \sin\gamma + 2\mu\pi l + 2t\pi l \sin\gamma$$

ou

$$T^2 = t^2 + (\mu + \pi l)(\mu + \pi l + 2t \sin\gamma), \qquad (8)$$

La charge mobile partage le câble en deux arcs de parabole représentés par les équations ci-après, qu'on obtient en divisant $\frac{\theta dy}{ds}$ par $\frac{\theta dx}{ds}$ pour chacune des deux parties du câble étudiées séparément et intégrant ensuite les équations en $\frac{dy}{dx}$:

$$(9) \quad \left.\begin{aligned} \frac{dy}{dx} &= \operatorname{tg}\gamma + \frac{\pi x}{t\cos\gamma\cos\alpha}, \\ y &= x\operatorname{tg}\gamma + \frac{\pi x^2}{2t\cos\gamma\cos\alpha}, \end{aligned}\right\} \text{Arc inférieur}$$

$$(10) \quad \left.\begin{aligned} \frac{dy}{dx} &= \operatorname{tg}\gamma + \frac{\mu}{t\cos\gamma} + \frac{\pi x}{t\cos\gamma\cos\alpha}, \\ h - y &= \left(\operatorname{tg}\gamma + \frac{\mu}{t\cos\gamma}\right)(c - x) + \frac{\pi(c^2 - x^2)}{2t\cos\gamma\cos\alpha}. \end{aligned}\right\} \text{Arc supérieur}$$

On a exprimé que l'arc inférieur part de l'origine et que l'arc supérieur aboutit au point d'attache en haut.

L'angle γ varie avec les diverses positions de la charge mobile.

Nous distinguerons trois cas :

1° Câble amarré en haut avec contrepoids en bas;

2° Câble amarré en bas avec contrepoids en haut;

3° Câble amarré aux deux bouts.

1° *Câble amarré en haut avec contrepoids en bas.*

t est constant et égal au contrepoids.

Dès lors, la valeur γ est fournie par la relation (7) :

$$h \cos \gamma - c \sin \gamma = \frac{\pi l c + 2\mu(c - a)}{2t}.$$

Le premier membre sera minimum pour $a = c$; son minimum correspondant au maximum de γ, γ est maximum pour $a = c$ et sa valeur décroît à mesure que la charge descend.

On fixera la valeur du contrepoids ou de t d'après la valeur de γ qu'on veut avoir quand $a = 0$.

La tension maxima T, et par suite l'équarrissage du câble, se déterminera en portant dans la relation (6) la valeur de $\sin \gamma$ qui correspond à $a = c$.

L'amplitude du mouvement du contrepoids résulte de la variation de longueur du câble entre les positions extrêmes de la charge mobile. On obtiendra la longueur totale, pour une position d'abscisse a de la charge mobile, en calculant l'y correspondant d'après l'une des relations (9) ou (10), et assimilant chacun des deux arcs, séparés par la charge, à un arc de cercle dont on fixera analytiquement la flèche par une perpendiculaire élevée au milieu de la corde.

Exemple B.

Soit le même exemple déjà étudié précédemment, avec cette seule modification que la charge, au lieu d'être répétée de 20 en 20 mètres, constituera un train unique $\mu = 400$ kilogrammes.

En fixant pour limite inférieure de γ 10° quand $a = 0$, le calcul fournit

$$t = 1140^{kg},$$
$$\gamma \text{ maximum} = 28°.$$

$T = 1.430$ kilogrammes, chiffre qui montre que le poids de 1 kilogramme par mètre du câble est dans ces conditions admissible pour un câble en fer.

2° Câble amarré en bas avec contrepoids en haut.

Quand le contrepoids est disposé en haut, T est constant, par suite aussi le second membre de la relation (8) :

$$T^2 = t^2 + (\mu + \pi l)(\mu + \pi l + 2t \sin\gamma).$$

Soit ω (*fig.* 4, Pl. XIV) l'inclinaison sur l'horizontale de la tension T au sommet du câble.

La relation (7)

$$t = \frac{\pi l c + 2\mu(c - a)}{2(h \cos\gamma - c \sin\gamma)},$$

peut s'écrire :

$$2ht \cos\gamma - 2ct \sin\gamma = \pi l c + 2\mu(c - a).$$

Si on remarque, en examinant les projections verticales des forces en jeu, que

$$t \sin\gamma = T \sin\omega - (\mu + \pi l),$$

en substituant on aura :

$$2th \cos\gamma - 2cT \sin\omega + \pi l c + 2\mu a = 0.$$

D'autre part, on peut remplacer $t \cos y$ par $T \cos\omega$, ce qui fournit :

$$2hT \cos\omega - 2cT \sin\omega + \pi l c + 2\mu a = 0$$

ou

$$T = \frac{\pi l c + 2\mu a}{2(c \sin\omega - h \cos\omega)}.$$

On en déduit que ω croît avec a : son maximum correspond à $a = c$ et son minimum à $a = 0$.

Pour déterminer la valeur à donner au contrepoids, on fixera d'abord la valeur qu'on adopte pour γ quand $a = 0$, et on déterminera t correspondant d'après la for-

mule (7), $a-0$:

$$t=\frac{c(\pi l+2\mu)}{2(h\cos\gamma-c\sin\gamma)}.$$

Enfin, on calculera T d'après la relation (8) :

$$T^2=t^2+(\mu+\pi l)(\mu+\pi l+2t\sin\gamma),$$

en donnant à t et γ leurs valeurs pour $a=0$.

On remarquera que, si dans l'équation (8) on remplace $t\sin\gamma$ par $T\sin\omega-(\mu+\pi l)$, on obtient :

$$T^2=t^2+2(\mu+\pi l)T\sin\omega-(\mu+\overline{\pi l})^2$$

ou

$$t^2=T^2-2(\mu+\pi l)T\sin\omega+(\mu+\overline{\pi l})^2.$$

D'où il ressort que t varie à l'inverse de ω, c'est-à-dire que t est maximum pour $a=0$ et minimum pour $a=c$.

Si on se reporte à l'équation (8), on reconnaît au contraire que γ varie en sens contraire de t, c'est-à-dire que γ s'ouvre à mesure que a grandit.

La détermination de la variation de longueur du câble est analogue à celle que l'on fait dans le cas de t constant. On déduira ω de la relation :

$$c\sin\omega-h\cos\omega=\frac{\pi lc+2\mu a}{2T},$$

t en fonction de T et ω de l'équation en t^2 :

$$t^2=T^2-2(\mu+\pi l)T\sin\omega+(\mu+\overline{\pi l})^2,$$

enfin, γ de l'équation (7) ou bien de l'équation de projections :

$$t\sin\gamma=T\sin\omega-(\mu+\pi l).$$

Exemple C.

Étudions, en supposant T constant, l'exemple A qui nous sert de type et de terme de comparaison.

Soit $\pi=1$ kilogramme. En faisant $\gamma=10°$ pour $a=0$, la valeur correspondante de t est 1.140 kilogrammes et la

valeur de T de 1.320 kilogrammes (au lieu de 1.430 kilogrammes dans le cas de t constant).

3° *Câble amarré à ses deux extrémités.*

Le cas d'un câble amarré à ses deux extrémités est plus difficile à préciser que celui des câbles à contrepoids. Toutefois si on suppose qu'on ait étudié le projet d'un câble à contrepoids en bas par exemple, et qu'on ait dressé le tableau des diverses longueurs du câble correspondant à des positions successives de la charge mobile, soit a_1 l'abscisse de la charge qui entraîne la longueur maxima. Pour toute position de la charge mobile autre que celle envisagée, le câble, amarré aux deux bouts avec une longueur égale à celle qui correspond à a_1, restera plus long que si un contrepoids réduisait sa longueur. Par suite, sa tension sera moindre et son équarrissage dans de meilleures conditions. Mais il faut que l'excès de longueur n'ait pas pour conséquence de produire en bas, lors de l'arrivée de la charge, une inclinaison qu'on ne puisse accepter. On calculera, comme suit, la valeur que prend cette inclinaison. Quand la charge arrive en bas, le câble forme un arc unique qu'on peut assimiler à un arc de cercle. Connaissant la longueur de l'arc, on déterminera sa flèche perpendiculairement au milieu de la corde, et par suite les coordonnées x et y de l'extrémité de la flèche. Reportant leurs valeurs dans l'équation (10), on éliminera t entre cette équation et l'équation (7) dans laquelle on fera $a = 0$. On obtiendra ainsi une équation de la forme $A.\sin\gamma + B\cos\gamma + C = 0$ qui permet de déduire γ, c'est-à-dire la valeur vers laquelle tend l'inclinaison en bas de l'arc inférieur quand la charge y arrive. On conçoit que la valeur que l'on obtiendra pour γ sera inférieure à celle admise dans l'étude que l'on aura faite antérieurement

avec contrepoids en bas. Pour accroître cet angle γ, il faut tendre davantage, c'est-à-dire perdre l'avantage signalé d'un excès de longueur entraînant une diminution de tension dans toute position autre que celle qui correspond au maximum de longueur du câble à contrepoids.

L'amarrage aux deux bouts constitue une solution simple, permettant d'éviter les contrepoids toujours plus ou moins gênants et coûteux. En revanche, les câbles amarrés aux deux bouts ne se prêtent pas facilement à un calcul exact fournissant la valeur des tensions ou des coordonnées des divers points. On est alors réduit à procéder par une assimilation plus ou moins incertaine. Ajoutons que l'amarrage à la tension voulue de gros câbles peut offrir des difficultés qu'on surmonte avec des contrepoids.

En se fondant sur la constance de la longueur de l'arc qu'on assimilerait à un arc de cercle de longueur constante et fixé à ses extrémités, on peut être porté à considérer que, dans le cas d'un câble amarré aux deux bouts, l'angle γ varie peu. Car, un arc de cercle ainsi défini aurait toujours son centre au même point. Dès lors, on calculerait T en supposant que γ conserve la valeur qu'on lui donne pour $a = 0$, t ayant sa valeur maximum pour $a = 0$. Le calcul ainsi conduit est analogue à celui qu'on fait dans le cas d'un contrepoids en haut du câble. Il est plus prudent de calculer un arc amarré aux deux bouts, en se plaçant dans le cas moins favorable de t constant.

Exemple D.

Pour se rendre compte de l'utilité d'emploi des câbles à charge mobile et des ressources qu'ils offrent à la pratique, considérons le cas suivant que nous traiterons avec contrepoids en bas :

$$\left.\begin{aligned} l &= 1000^m \\ \alpha &= 60^\circ \end{aligned}\right\} \text{ on en déduit } \left\{\begin{aligned} h &= 866^m,025 \\ c &= 500 \end{aligned}\right.$$

Soient $\mu = 400$ kilogrammes et $\pi = 1$ kilogramme.

Admettons pour γ une valeur de 10° quand $a = 0$. Cette valeur minima de 10° n'a du reste rien d'obligatoire et on pourrait la prendre plus faible : si je la choisis, c'est afin d'avoir une certaine marge.

On trouve

$$t = 587^{kg},426,$$
$$\text{max. de } \sin\gamma = 0,5335 \text{ ou max. de } \gamma = 32°14'32''.$$

Tmax. = 1.755 kilogrammes, tension admissible pour un câble en acier et même pour un câble en fer. (Les fabricants indiquent les chiffres de 7.000 kilogrammes et 11.500 kilogrammes comme efforts de rupture d'un câble de 1 kilogramme en fer et en acier).

Avec contrepoids en haut, on aurait T = 1.610 kilogrammes.

Cet exemple montre tout le parti qu'on peut tirer des câbles dans des conditions appropriées. Mais il est indispensable, et j'appelle l'attention sur ce point, de calculer les tensions des câbles correspondant aux données. Car, ces tensions peuvent varier très notablement suivant les conditions axquelles elles se rapportent.

CABLES HORIZONTAUX.

Les câbles horizontaux, c'est-à-dire dont le point de départ et le point d'arrivée sont au même niveau, peuvent être considérés, quand il s'agit d'une charge uniformément répartie, comme formés de deux câbles assemblés bout à bout, ayant chacun une longueur égale à la moitié de la longueur totale, et présentant en bas une inclinaison nulle $\gamma = 0$. On leur appliquera les formules (4) et (3), dans lesquelles on remplacera la longueur de la corde par $\sqrt{h^2 + \frac{l^2}{4}}$ et la projection horizontale c par $\frac{l}{2}$, h

étant la flèche du câble unique formé de la réunion des deux câbles partiels que nous envisageons. Les formules indiquées deviennent ainsi :

$$t = \frac{pl}{4h}\sqrt{h^2 + \frac{l^2}{4}}$$

et

$$T^2 = p^2\left(h^2 + \frac{l^2}{4}\right)\left(1 + \frac{l^2}{16h^2}\right).$$

D'ordinaire, cette dernière formule, appliquée aux ponts suspendus, s'établit en supposant que la charge est répartie sur la projection horizontale : $\sqrt{h^2 + \frac{l^2}{4}}$ est alors remplacé par $\frac{l}{2}$ et on a

$$T^2 = \frac{p^2l^2}{4}\left(1 + \frac{l^2}{16h^2}\right)$$

ou, en écrivant $d = \frac{l}{2}$,

$$T^2 = p^2d^2\left(1 + \frac{d^2}{4h^2}\right) = \frac{p^2d^2}{4h^2}(d^2 + 4h^2).$$

Quand il s'agit de faire porter par un câble horizontal une charge mobile, nous considèrerons la longueur totale en supposant qu'on applique à une extrémité un contrepoids t, l'autre extrémité étant invariablement fixée (*fig.* 15, Pl. XIV). Soient P et Q les composantes de la tension T à l'extrémité amarrée et soit γ l'inclinaison variable de la tension t du dernier élément de l'arc relié à un contrepoids de même valeur. Comme précédemment, nous appellerons π le poids par mètre du câble, μ la charge mobile et a son abscisse ; l sera la longueur de la corde. Le poids π du câble sera supposé uniformément réparti sur sa corde. On a :

$$P = \mu + \pi l - t \sin\gamma$$

et

$$lt\sin\gamma - \mu(l-a) - \frac{\pi l^2}{2} = 0$$

ou

$$2t\sin\gamma = 2\mu\frac{l-a}{l} + \pi l = 2\mu - 2\mu\frac{a}{l} + \pi l.$$

Faisons une section M en un point de coordonnées x et y compris entre le contrepoids et la charge mobile. Soit θ_1 la tension du câble en M :

$$\theta_1\frac{dx}{ds} = Q = t\cos\gamma,$$

$$\theta_1\frac{dy}{ds} = \mu + \pi(l-x) - P = t\sin\gamma - \pi x.$$

On en déduit :

$$\theta_1^2 = t^2 - 2\pi t\sin\gamma \times x + \pi^2 x^2$$

et

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg}\gamma - \frac{\pi x}{t\cos\gamma}$$

ou, en intégrant,

$$y = x\operatorname{tg}\gamma - \frac{\pi x^2}{2t\cos\gamma}$$

Une section en M' fournirait :

$$\theta_2\frac{dx}{ds} = t\cos\gamma,$$

$$\theta_2\frac{dy}{ds} = \pi(l-x) - P = t\sin\gamma - \mu - \pi x.$$

D'où :

$$\theta_2^2 = t^2 + \mu^2 - 2t\mu\sin\gamma - 2\pi(t\sin\gamma - \mu)x + \pi^2x^2,$$

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg}\gamma - \frac{\mu}{t\cos\gamma} - \frac{\pi x}{t\cos\gamma}$$

et

$$y = (x-l)\left(\operatorname{tg}\gamma - \frac{\mu}{t\cos\gamma}\right) - \frac{\pi(x^2-l^2)}{2t\cos\gamma}.$$

Examinons d'abord la partie du câble située au delà de l'abscisse a.

Pour une position déterminée a de la charge mobile, θ_2 varie avec x le long du câble, dans la zone à laquelle il s'applique, c'est-à-dire entre $x = a$ et $x = l$. Si on dérive θ_2 par rapport à x, on a :

$$2\pi^2 x - 2\pi(t \sin\gamma - \mu) = 2\pi^2\left(x - \frac{t \sin\gamma - \mu}{\pi}\right)$$

ou

$$2\pi^2\left[x - \left(\frac{l}{2} - \frac{\mu a}{\pi l}\right)\right].$$

Soit

$$\frac{l}{2} < \frac{\mu a}{\pi l} \quad \text{ou} \quad a > \frac{\pi l^2}{2\mu}.$$

La dérivée est alors toujours positive et le maximum de θ_2 se réalise à l'extrémité amarrée.

Quand, au contraire, $a < \dfrac{\pi l^2}{2\mu}$, la dérivée est négative pour les valeurs de x comprises entre a et $\dfrac{l}{2} - \dfrac{\mu a}{\pi l}$. Elle est positive au delà. θ_2 décroît donc d'abord pour croître ensuite avec x, c'est-dire que son maximum a lieu en deux points : 1° dans la section $x = a$, et 2° dans la section $x = l$. Mais, si nous calculons le maximum correspondant à $x = a$, nous trouvons :

$$\begin{aligned}
\theta_2^2 &= t^2 + \mu^2 - 2t\mu \sin\gamma - 2\pi(t \sin\gamma - \mu)a + \pi^2 a^2 \\
&= t^2 + \mu^2 - 2t \sin\gamma(\mu + \pi a) + 2\pi\mu a + \pi^2 a^2 \\
&= t^2 + \mu^2 - 2(\mu + \pi a)\left(\mu - \mu\frac{a}{l} + \frac{\pi l}{2}\right) + 2\pi\mu a + \pi^2 a^2 \\
&= t^2 - \mu^2 - \pi\mu l + a\left(\frac{2\mu^2}{l} - \pi^2 l\right) + \pi\left(\frac{2\mu}{l} + \pi\right)a^2.
\end{aligned}$$

Et, en dérivant cette fois par rapport à a, on aura :

$$2\pi\left(\frac{2\mu}{l} + \pi\right)a + \frac{2\mu^2}{l} - \pi^2 l$$

ou

$$2\pi\left(\frac{2\mu}{l} + \pi\right)\left[a - \left(\pi^2 l - \frac{2\mu^2}{l}\right)\frac{1}{2\pi\left(\frac{2\mu}{l} + \pi\right)}\right].$$

Étudions cette dérivée comme nous l'avons fait pour la précédente.

Elle est toujours positive, et par conséquent θ_2 va toujours en croissant avec a jusqu'à $a = l$, quand $\frac{2\mu^2}{l} > \pi^2 l$.

Si, au contraire, $\pi^2 l > \frac{2\mu^2}{l}$, alors θ_2 commence par décroître pour croître ensuite à mesure que a partant de zéro se rapproche de l. Or, on voit que, pour les valeurs très petites de a, θ_2^2 tend vers la limite $t^2 - \mu^2 - \mu\pi l$, qui est inférieure à t^2, tandis que le maximum à l'autre extrémité a pour valeur :

$$T^2 = t^2 - \mu^2 - \pi\mu l + 2\mu^2 - \pi^2 l^2 + 2\pi\mu l + \pi^2 l^2$$

ou

$$T^2 = t^2 + \mu(\mu + \pi l), \text{ quantité supérieure à } t^2.$$

D'autre part, si on envisage l'autre partie du câble,

$$\theta_1^2 = t^2 - 2\pi x t \sin\gamma + \pi^2 x^2.$$

En dérivant par rapport à x, on trouve :

$$2\pi^2 x - 2\pi t \sin\gamma$$

ou

$$2\pi\left[\pi x - \left(\mu + \frac{\pi l}{2} - \frac{\mu a}{l}\right)\right].$$

La quantité $u + \frac{\pi l}{2} - \frac{\mu a}{l}$ étant toujours positive puisque $a < l$ et *a fortiori* $a < l\left(\frac{\mu + \frac{\pi l}{2}}{\mu}\right)$, la dérivée est négative pour les petites valeurs de x, positive ensuite. Quelle que soit la valeur de a, θ_1^2 est donc maximum pour les deux valeurs de x : $x = 0$ et $x = a$. Mais le premier maximum a pour valeur t^2 inférieur à T^2, et, quant au deuxième, pour $x = a$, on a :

$$\theta_1^2 = t^2 - 2\pi a t \sin\gamma + \pi^2 a^2$$

ou

$$\theta_1^2 = t^2 - 2\pi a\left(\mu + \frac{\pi l}{2} - \mu\frac{a}{l}\right) + \pi^2 a^2$$

ou

$$\theta_1^2 = t^2 + \pi(a^2 - al)\left(\pi + \frac{2\mu}{l}\right),$$

et on voit que al est plus grand que a^2, de sorte que, le deuxième terme étant négatif, θ_1^2 est inférieur à t^2, et, par suite, à T^2.

Ainsi, de la discussion qui précède il résulte que l'équarrissage sera déterminé uniquement par la tension à l'extrémité amarrée quand $a = l$, ce qui fournit la formule

$$T^2 = t^2 + \mu(\mu + \pi l).$$

On prendra pour données μ, π et l, et on s'imposera la valeur de T qu'on ne veut pas dépasser sur le câble dont on a fixé le poids par mètre. On pourra donc déduire t de la relation qui précède en attribuant à T la valeur choisie. On calculera ensuite $\sin\gamma$, puis $\operatorname{tg}\gamma$ et $\cos\gamma$ correspondant à t et à une certaine abscisse a. On sera alors en mesure de déterminer la flèche de la section d'abscisse a à l'aide des équations paraboliques. La valeur de la flèche dans les diverses sections permettra de juger si les données satisfont aux conditions du problème.

Exemple E.

Soient

$$l = 60^{m}, \quad \mu = 400^{kg}, \quad \pi = 1^{kg}.$$

Adoptons

$$T = 2000^{kg}.$$

On trouve

$$t = 1950^{kg}.$$

Et pour

$$a = \frac{l}{2}, \quad h = 3^{m},33.$$

Quand

$$a = 0, \quad \text{pour} \quad x = \frac{l}{2}, \quad h = 0^m,36.$$

Quand

$$a = l, \quad \text{pour} \quad x = \frac{l}{2}, \quad h = 0^m,23.$$

SUPPORTS OU POINTS D'APPUI.

Lorsque le profil du sol ne permet pas de laisser prendre au câble la flèche qui résulterait de sa pose dans les conditions indiquées précédemment, on le relève en certains points à l'aide de supports disposés comme il sera indiqué plus loin. Ces supports partagent le câble en un certain nombre de travées.

Soient trois travées (*fig.* 10, Pl. XIV) AB, BC, CD correspondant aux supports B et C et soient $AB = l'$, $BC = l''$, $CD = l'''$. Appelons c', c'', c''' leurs projections horizontales ; h', h'', h''' leurs projections verticales. Faisons circuler en montant de A à D la charge μ, et supposons qu'on étudie le câble avec contrepoids en bas.

Nous fixerons comme précédemment, c'est-à-dire arbitrairement, la valeur de l'inclinaison γ' au bas du câble quand la charge est en A. On a alors, en vertu de la relation (7) :

$$t' = \frac{\pi l' c' + 2\mu c'}{2(h' \cos\gamma' - c' \sin\gamma')}.$$

On calculera t'. On déterminera ensuite la valeur de γ' quand la charge mobile arrive au sommet de la première travée, c'est-à-dire le maximum de γ', à l'aide de la relation :

$$h' \cos\gamma' - c' \sin\gamma' = \frac{\pi l' c'}{2t'}.$$

C'est la relation (7) dans laquelle on fait $a' = c'$. On n'aura plus qu'à déduire de l'expression (8) la valeur

maxima de T' au bout de la première travée. Cette valeur de T' se réalise quand la charge arrive immédiatement au-dessous du point B.

La tension t'' au bas de la seconde travée sera alors égale à T'. On calculera l'inclinaison γ'' au bas de la deuxième travée d'après la valeur de t'', en faisant $\mu=0$ puisque la deuxième travée ne porte pas de charge mobile. T'' résultera des valeurs trouvées pour t'' et γ''. Enfin, on déterminera de même t''', γ''' et T'''.

Il faudra ensuite que la charge dépasse B pour se placer au bas de la deuxième travée. A partir de ce moment, la travée inférieure ne porte rien. Le contrepoids t' détermine dans cette première travée un angle en bas γ'_1 auquel correspond une tension en haut T'_1, laquelle peut être considérée comme un contrepoids déterminant la tension en bas t''_1 de la deuxième travée. A t''_1 correspond sous la charge μ une inclinaison γ''_1 pour $a''=0$. On calculera la valeur de γ''_1 pour $a''=c''$. On obtiendra T''_1 quand $a''=c''$. On prendra $t'''_1=T''_1$ et on calculera les valeurs correspondantes de γ'''_1 et T'''_1.

Enfin, quand μ dépasse C, t' dans la première travée détermine comme précédemment les valeurs $\gamma'_2=\gamma'_1$ et $T'_2=T'_1=t''_2$. On calculera γ''_2 correspondant à t''_2 en faisant $\mu=o$ et on déterminera T''_2, par suite t'''_2, puis γ'''_2 sous l'action de la charge μ pour $a'''=0$. Restera à trouver le maximum de γ'''_2 quand $a'''=c'''$ et la valeur correspondante de T'''_2.

On composera ainsi un tableau dont la plus grande valeur de T permettra de juger si le poids π et la valeur de la charge sont compatibles avec les données.

On devra tenir compte des changements brusques d'inclinaison au droit des appuis et des ralentissements auxquels ils astreignent. On devra aussi s'assurer que l'inclinaison nécessaire au mouvement de la charge est partout suffisante.

Dans le cas d'un contrepoids en haut, si on suppose la charge au bas de la travée inférieure, on fixe arbitrairement γ' pour $\alpha'=0$ et on en déduit la valeur que prend t', et par suite $T'=t''$ qui sert à déterminer γ'' en faisant $\mu=0$, puis $T''=t'''$, et enfin γ''' et T'''. On répétera le même calcul en disposant la charge sur chaque travée : on pourra fixer l'inclinaison minima au bas de chacune d'elles et calculer la tension minima au sommet du câble qui en résultera. Bien entendu, on prendra comme valeur du contrepoids la plus grande des valeurs trouvées pour T.

Les points d'appui permettent aux diverses travées de s'allonger sous la charge aux dépens des autres. Cet allongement améliore les conditions de travail du câble.

Il va sans dire que les câbles amarrés aux deux bouts comportent tout aussi bien des appuis que les câbles à contrepoids. On étudiera leur établissement comme celui d'un câble à contrepoids en bas. De même pour les câbles horizontaux.

Le mode de calcul qui précède s'applique facilement au cas d'une charge uniformément répartie. On fixe alors l'inclinaison de la travée inférieure γ', on en déduit t' (4) et T' (3). La valeur de t'' est égale à T', de sorte qu'on peut facilement obtenir γ'' (4), par suite T'' (3), et ainsi de suite.

Les efforts qu'ont à supporter les colonnes d'appui s'exercent suivant la bissectrice des tensions. Aussi construira-t-on ces colonnes en vue de résister aux forces en jeu. Un câble comprenant toujours deux brins, l'un montant, l'autre descendant, les colonnes arcboutées, formant support, sont munies à leur sommet de deux bras en croix (*fig.* 6, Pl. XIV) : chaque câble repose librement, à l'extrémité des bras du support, dans la gorge d'une poulie. La poulie transforme en roulement le frottement

qui se produirait au contact et dont l'effet entraînerait une usure rapide des fils.

Quand on étudie le projet d'un câble, il faut d'abord choisir avec la plus grande attention le profil du sol qui convient le mieux à son emploi. Ce profil sera relevé avec soin afin de le comparer à la courbe qu'affectera le câble.

Nous avons vu qu'une charge mobile divise le câble en deux parties représentées par les équations (9) et (10).

Un câble à charge uniformément répartie forme une parabole unique, dont on obtient l'équation en divisant (2) par (1) et intégrant :

$$y = x \operatorname{tg} \gamma + \frac{px^2}{2t \cos \gamma \cos \alpha}. \qquad (11)$$

Pas de difficulté pour construire d'après l'équation (11) la courbe du câble. On la reportera en face du profil du sol afin de reconnaître si la charge passe librement.

Dans le cas d'une charge mobile, on se bornera à déterminer, au passage de la charge, l'ordonnée du câble au-dessus d'une aspérité du sol. A cet effet, on donnera à a la valeur de l'abscisse d'un pareil point, et on se servira de l'équation (9) en faisant $x = a$ et attribuant à γ et t les valeurs convenables.

Si l'on suppose un contrepoids en bas, c'est-à-dire t constant, il suffit de calculer γ correspondant à a d'après la formule (7).

Avec contrepoids en haut, on se servira des relations :

$$T = \frac{\pi lc + 2\pi a}{2(c \sin \omega - h \cos \omega)},$$

$$t^2 = T^2 - 2(\mu + \pi l) T \sin \omega + (\mu + \pi l)^2$$

et

$$t \sin \gamma = T \sin \omega - (\mu + \pi l).$$

La première fournira ω en fonction de a et T. La seconde

permettra de déterminer t, et enfin on déduira γ de la troisième.

Les câbles amarrés aux deux bouts restent, pour toute position intermédiaire de la charge, moins tendus que les câbles à contrepoids auxquels on les a assimilés dans le calcul d'équarrissage. Une augmentation de longueur de l'arc pouvant entraîner une différence importante de longueur de l'ordonnée sans qu'on puisse la préciser exactement, si l'on ne veut pas s'exposer, en continuant à assimiler le câble à un câble à contrepoids, à ce que la charge touche terre en un point qui n'aurait pas été prévu au projet, on pourra renoncer à l'amarrage aux deux bouts et adopter un contrepoids en haut, qu'on rendra mobile soit dans un puits vertical, soit sur un petit plan incliné. Toutefois, le relèvement à obtenir sera généralement de faible importance et rien n'empêche de relever le câble, après sa pose, par un support dont on ne tient pas compte dans l'établissement.

CABLE DE TRACTION.

Lorsque le câble porteur est fixe et sert seulement de support aux charges mobiles qui roulent sur lui, la charge descendante étant employée à remonter sur un deuxième câble parallèle au premier le matériel vidé en bas, l'ensemble des charges descendantes doit alors être relié par un câble de traction aux charges montantes, ainsi que cela se pratique sur les plans inclinés.

(*Fig.* 5, Pl. XIV). Soit λ l'espacement sur le câble porteur des charges mobiles μ, dont la répartition k par mètre sera dès lors $\frac{\mu}{\lambda}$, de telle sorte que pour le câble porteur $p = \pi' + \frac{\mu}{\lambda}$.

Les charges mobiles μ agissent sur le câble de traction par leur composante suivant la corde du câble. Si α est son inclinaison sur l'horizon, la valeur de la composante est $\mu \sin \alpha$.

Soit l la longueur du câble porteur.

L'ensemble des composantes $\mu \sin \alpha$ agissant sur le câble de traction au nombre de $\frac{l}{\lambda}$ sera :

$$\mu \sin \alpha \times \frac{l}{\lambda}.$$

Le câble de traction devra avoir une section suffisante pour résister à l'effort total qui précède.

Dans le cas d'un train unique circulant sur le câble, $\lambda = l$, et alors le câble de traction n'est plus soumis qu'à l'effort $\mu \sin \alpha$ provenant du train mobile et à la composante de son poids propre $\frac{\pi' l}{2} \sin \alpha$ (π' étant le poids par mètre courant du câble de traction), composante dont nous devons, pour plus d'exactitude, tenir compte ici, parce que le câble de traction n'est plus soutenu qu'aux deux extrémités : en haut par la poulie de frein, en bas par son attache au train. Ainsi, l'effort total maximum sur le câble de traction, lorsque le système est à train unique, est de :

$$\mu \sin \alpha + \frac{\pi'}{2} l \sin \alpha \quad \text{ou} \quad \left(\mu + \frac{\pi' l}{2}\right) \sin \alpha.$$

Exemple D.

Dans les conditions de l'exemple (A) d'un câble dont la corde de 100 mètres de longueur est inclinée de 30° et qui porte des charges de 400 kilogramme espacées de 20 mètres, l'effort sur le câble de traction est de :

$$400^{kg} \times \sin 30° \times \frac{100}{20} = 400 \times \frac{1}{2} \times 5 = 1000^{kg}.$$

En admettant un coefficient de sécurité de $\frac{1}{7}$, on prendra un câble en fer de 1 kilogramme ou en acier de 666 grammes.

Dans les conditions de l'exemple (B), qui ne diffère du précédent que parce que la charge de 400 kilogrammes constitue un train unique, l'effort sur le câble de traction sera de

$$\left(400^{kg} + \frac{\pi'}{2} \times 100\right) \sin 30^\circ, \quad \text{ou de} \quad 200^{kg} + 25\pi'.$$

On égalera cette quantité à la limite d'effort qu'on veut faire supporter au câble suivant le métal dont il est formé :

$$200^{kg} + 25\pi' = 1000\pi' \text{ pour le fer,} \quad \text{d'où} \quad \pi' = 205^{gr},$$
$$200^{kg} + 25\pi' = 1500\pi' \text{ pour l'acier,} \quad \text{d'où} \quad \pi' = 135^{gr}.$$

INSTALLATIONS.

Un mémoire de M. Revaux, publié en 1883 dans le *Génie civil*, décrit les dispositions adoptées à Bilbao : système Hogdson sans câble de traction, systèmes Bleichert et Otto à câble de traction. Les installations décrites sont compliquées et coûteuses. C'est là le motif pour lequel je crois utile de faire connaître le mécanisme, que j'avais tout d'abord plus particulièrement en vue dans l'étude actuelle, de petits câbles rustiques à train unique fonctionnant comme des plans inclinés. Leur prix de revient, ainsi qu'on en jugera, est peu élevé ; en revanche, leur débit est faible. Il faut multiplier les moyens pour atteindre un résultat important. Aussi ce mode de transport est-il insuffisant quand il s'agit d'un gros tonnage autorisant de fortes immobilisations. En revanche, il peut fournir un aide précieux si l'on doit se préoccuper

de la dépense à engager pour utiliser un gîte de production modeste.

De nombreux exemples de pareils câbles existent dans une houillère de la vallée de Langreo (Asturies). On y a adopté un type unique dans toutes les dimensions de ses diverses parties. Cette uniformité, qui n'est pas toujours à recommander, présente, quand elle est réalisable, des avantages sur lesquels je n'ai pas besoin d'insister.

Les câbles sont tous en fer, du poids par mètre de 1.140 grammes environ pour les câbles porteurs et de 325 à 330 grammes pour les câbles de traction. Les premiers sont formés de fils n° 19 constituant un toron dont l'âme est elle-même composée de trois fils n° 19. Les câbles de traction sont à six fils n° 16.

Chaque train comprend quatre caisses portées chacune par deux poulies roulant sur les câbles porteurs.

L'ensemble des deux poulies auxquelles est suspendue une même caisse (*fig.* 7 et 8, Pl. XIV), est relié par un cadre triangulaire de cinq fers à T, savoir : 1° deux moises embrassant les axes des poulies et reliées entre elles, au milieu et aux deux extrémités, par de petits rouleaux en fonte destinés à maintenir l'écartement et traversés par des boulons ; 2° une tringle verticale assez longue pour que la charge passe les points d'appui, et recourbé à son extrémité afin de ramener le centre de gravité dans le plan vertical du câble : sa partie recourbée porte le crochet de suspension de la caisse ; 3° deux bras reliant l'extrémité inférieure de la pièce qui précède aux extrémités des moises. La tringle et les bras sont d'ailleurs disposés d'un seul côté par rapport aux poulies, de manière à rester en dehors au passage des appuis. L'axe de chaque poulie traverse les moises et s'emboîte à l'extérieur dans un coussinet en bronze rivé à la moise. Ce coussinet, en forme de chapeau (*fig.* 14, Pl. XIV), est muni d'un trou à huile.

On remarquera qu'il y aurait lieu, si l'inclinaison était très prononcée, de supprimer les bras du cadre, afin d'assurer l'uniformité de charge des deux poulies.

Le train entier, comprenant quatre cadres, occupe sur le câble une longueur d'environ 2 mètres pour un poids total en charge de 400 à 450 kilogrammes au plus, de telle sorte que l'effort tranchant n'est pas trop élevé en un point donné.

Les caisses (*fig.* 11, Pl. XIV) ont une contenance d'à peu près 1 hectolitre ($0^{mc},095$). Elles sont en bois blanc muni de ferrures légères. Leur forme est évasée en haut afin de faciliter la vidange. Elles sont suspendues au crochet du cadre par une suspension en fer articulée, avec œillet à goupille. Il suffit en bas de retirer la goupille pour que la caisse bascule et se vide.

En haut, le chargement se fait à la pelle, les caisses restant toujours suspendues au câble. Il serait préférable, au point de vue tant de la rapidité des manœuvres que de la dépense journalière, de disposer, en face de la position que viendra prendre chaque caisse, un couloir à pente suffisante pour le chargement automatique. Il semble même qu'on pourrait, s'il en était besoin, remplacer sans grande difficulté les quatre caisses par un wagonnet unique attaché aux quatre systèmes de poulies, l'installation se prêtant à des dispositions variées.

Le câble de traction relie les trains montant et descendant : sa longueur et sa fonction sont analogues à celles des câbles de plan incliné. Il passe en haut sur une poulie munie d'un frein manœuvré par un gamin.

En général, les deux câbles porteurs forment un câble unique qu'on évite de couper, afin de faciliter son installation ailleurs si on vient à le déplacer.

On amarre aux deux extrémités.

L'amarrage en haut se fait autour de chandelles (bois de mine), de $0^{m},15$ à $0^{m},18$ de diamètre, enfoncées dans

un petit puits de 2 à 3 mètres de profondeur qu'on remblaie ensuite. Souvent on rattache plus haut, à l'aide d'un bout de câble, ces piquets ou chandelles à d'autres piquets semblables ou à un arbre, s'il s'en rencontre au voisinage.

Quand les deux câbles porteurs forment un câble unique, on boulonne sur trois chandelles, alignées suivant un même plan, un segment en bois, sur le contour duquel on trace une gorge où passe le câble. Pour éviter le glissement, il conviendrait alors d'enrouler deux ou trois fois autour d'un système composé de deux segments se faisant face de part et d'autre des pieux (*fig.* 9, Pl. XIV).

Si les deux câbles porteurs sont distincts, après quelques tours donnés sur l'ensemble des trois pieux, on réunit les deux bouts de câble par une épissure grossière.

En bas, l'amarrage se complique de la nécessité de tendre chaque brin. On fonce un petit puits d'une section de $2^m,50$ sur $0^m,60$ à $0^m,80$ avec une profondeur de 2 à 3 mètres, et on y encastre verticalement deux madriers de $0^m,22$ sur $0^m,22$ écartés de 2 mètres environ. Ces pièces sont reliées l'une à l'autre : 1° au fond du puits; 2° au niveau du sol; et 3° à leur sommet par des entretoises de $0^m,22$ sur $0^m,22$ assemblées à tenon et mortaise. L'entretoise supérieure ou chapeau du cadre doit présenter une résistance particulière : on consolide son assemblage avec les madriers à l'aide de fers plats de $0^m,05$ sur $0^m,012$. Sur ce chapeau, et dans des plans perpendiculaires (c'est-à-dire paralèlles aux câbles) (*fig.* 12, Pl. XIV), viennent s'appuyer trois fermes, dont l'ensemble comprend : 1° deux arbalétriers de $0^m,25$ sur $0^m,13$ pour chaque ferme; 2° un tirant pour chacune des fermes extrêmes; 3° deux sablières reliant les extrémités des tirants.

Les câbles porteurs s'enroulent sur des tambours retenus par les arbalétriers d'aval. Ces tambours sont des pièces de bois de $0^m,40$ de côté à section carrée, portant cloués sur leurs faces des segments circulaires. Leurs extrémités sont enchâssées dans une pièce carrée en fonte (*fig*. 13, Pl. XIV) munie d'un tourillon de $0^m,15$ de diamètre, et $0^m,12$ de longueur, qui vient s'engager dans l'arbalétrier.

On tend le câble à l'aide de leviers en bois de $0^m,12$ sur $0^m,12$ et de 3 mètres de longueur. Ils se boulonnent alternativement sur les quatre côtés de la pièce en fonte indiquée ci-dessus, par de forts boulons traversant de part en part. On empêche le tambour de rétrograder, quand on cesse d'exercer une pression sur le levier, en arcboutant avec une barre de fer de $0^m,05$ de diamètre, enfoncée dans les trous de boulon de l'autre extrémité du tambour.

Avant la tension, la mise en place du câble sur le sol est faite à dos d'homme. Les câbles sont amenés au voisinage de la charpente installée en bas. On les déroule : un homme prend l'extrémité et se dirige suivant les dénivellations du terrain dans le plan vertical où sera posé le câble. Dès que le porteur a parcouru un chemin suffisant pour que le câble traîne, un second porteur s'intercale et suit le premier, et ainsi de suite.

COÛT.

Le coût de l'installation d'un câble de 300 mètres peut être évalué comme suit :

700m de câble porteur à 1.140gr : 798kg à 1fr. . . .	= 798fr
350m de câble de traction à 330gr : 116kg à 1fr. . .	= 116
Poulie de câble de traction	= 100
Abri en planches sur cette poulie.	= 25
Pieux d'amarrage en haut et segments (puits compris)	= 25
Amarrage en bas.	= 250
Main-d'œuvre de pose du câble.	= 40
Outillage : 2 trains de 4 caisses.	= 250
Divers, alea, etc.	= 396
	2.000fr

soit par kilomètre 5.000 francs environ (prix d'Espagne).

RENDEMENT ET PRIX DE REVIENT.

Le personnel nécessaire sur un câble comprend :

1 serre-frein,
4 chargeurs,
1 gamin en bas pour vider les caisses.

Un câble de 300 mètres produit facilement 60 tonnes par journée de 10 heures.

Le prix de revient est estimé 0f,25 par tonne, les chiffres qui précèdent supposant un chargement à la pelle en haut.

CABLES D'ORGEMONT.

M. A. Pernolet a bien voulu me communiquer ses notes et croquis sur les câbles d'Orgemont. J'en extrais les détails ci-après.

Le système comprend deux câbles porteurs et un câble de traction.

Portée utile.	= 300m
Différence de niveau entre le départ et l'arrivée.	= 25

Les câbles porteurs sont en fer formés de 6 fils n° 21 enroulés en hélice autour d'un fil central du même numéro :

Pas de l'hélice	=	$0^{m},24$
Diamètre du câble	=	0 ,015 environ
Durée		4 à 6 ans

Les *fig.* 1 et 2 (Pl. XV) représentent la tête du câble.

L'amarrage en haut s'opère sur un soc en bois formé d'un pieu incliné, à équarrissage de $0^{m},25$ sur $0^{m},25$, et d'une semelle en bois horizontale enterrée dans le sol. Leur assemblage est consolidé par une ferrure ; les deux pièces sont en outre réunies : au milieu par une sorte d'entrait moisé, et à l'autre bout par une chaîne qui s'attache à la semelle par l'intermédiaire d'une ferrure bouclée. La semelle est recouverte transversalement d'une série de plateaux en bois jointifs de $2^{m},50$ de longueur intéressant à sa résistance un massif de 40 mètres cubes environ.

Chacun des câbles porteurs passe sur l'assemblage de l'entrait moisé et du pieu incliné : l'extrémité repliée sur 5 à 9 mètres est fixée à l'autre câble par 5 ou 6 épissures.

L'envoyage se fait sur une terrasse de 25 mètres de longueur, en tête de laquelle une entretoise donne aux câbles leur écartement normal de $2^{m},10$.

A l'extrémité opposée de la terrasse, et à 4 mètres de son bord, les câbles porteurs sont relevés et rendus absolument fixes par deux bois verticaux appuyés sur une semelle et recevant chacun dans une encoche l'un des deux câbles qu'ils relèvent à 5 mètres au-dessus du sol. On remarquera, à 2 mètres en arrière, des chaînes amarrées à un contrepoids fixe : ces chaînes sont suspendues au câble sur lequel elles font quelques tours, l'ensemble étant protégé par un manchon en toile ; on par-

vient ainsi à assurer la rigidité complète des câbles porteurs et à les empêcher de sortir des encoches du releveur.

En bas (*fig.* 3 et 4, Pl. XV), les câbles passent sur un chevalet releveur représenté *fig.* 5, Pl. XV. Ce chevalet est précédé d'un contrepoids raidisseur analogue à celui du départ. L'ancrage se fait ensuite autour de vérins tenseurs dont la tige est munie de filets carrés. Les vérins sont fixés à des ancres derrière un sommier commun à l'aide d'écrous à œil et les ancres sont reliées l'une à l'autre par des plateaux supportant une charge. Le câble se replie sur la croix du vérin et on pratique son épissure sur 2 mètres de longueur.

Les bennes (*fig.* 6 et 7, Pl. XV) sont en tôle de $1^{mm},5$ d'épaisseur renforcée aux angles à l'intérieur par des cornières de $25 \times 25 \times 4^{mm}$ à écartement de rivure de 55 millimètre. Leur capacité est de $0^{m3},080$, soit *1/12* à 1/13 de mètre cube. La caisse bascule autour d'un axe porté par un étrier en fer rond au bois, par lequel elle est suspendue. Pendant le trajet, un anneau la maintient en reliant à l'anse un ergot vissé sur sa paroi.

Poids total vide.	=	60^{kg}
Poids de terre transporté.	=	120^{kg} (marnes et argile)
Poids total plein.	=	180^{kg}
Prix total.	=	38^{fr}

Les bennes, remplies au chantier, sont roulées à l'envoyage sur des brouettes spéciales en bois avec sommier relevant la charge au-dessus de la roue (*fig.* 1 et 8, Pl. XV). Leur prix est de 32 francs. La roue est en bois avec cercle en fer. L'écartement des brancards est à l'avant de $0^{m},475$, à l'arrière de $0^{m},60$. Le moyeu est renforcé par 4 frettes.

L'anse de la benne s'engage dans un crochet d'attelage à ressort (*fig.* 9, Pl. XV), qui termine une chaine de

4 mètres de longueur attachée à la chape de suspension.

Celle-ci (*fig.* 10 et 11, Pl. XV) est formée de deux tôles triangulaires de 4 millim. d'épaisseur comprenant entre elles deux poulies de 0^m,205 de diamètre qui reposent sur le câble par une gorge de 21 millim. d'épaisseur et de 7 millimètres. de profondeur. Ces poulies sont portées par de véritables paliers en fonte, à base rivée sur les tôles de la chape.Les axes des poulies frottent sur des coussinets, et leur entrée dans le palier est facilitée par une échancrure des tôles. L'écartement de la chape est maintenue : 1° en haut, par trois boulons, dont un entre les poulies; 2° au milieu, par un entre-deux en bois que traverse le boulon d'attelage du câble de traction; et 3° en bas, par le crochet retenant la chaîne de suspension.

Le câble de traction se compose de six fils de fer de Franche-Comté, de 2 milimètres de diamètre, tressés autour d'un septième fil central de manière à former, avec une garniture de chanvre, un câble de 8 millimètres de diamètre, du poids par mètre de 116 grammes. Sa durée ordinaire est d'une campagne. C'est un câble sans fin de 600 mètres de longueur engagé, aux extrémités du transport, dans les gorges de deux poulies : l'une motrice en tête, l'autre de retour en queue.

La poulie motrice (*fig.* 12 et 13, Pl. XV) de 1 mètre de diamètre à la gorge, est d'une seule pièce. Son arbre se termine de chaque côté par une manivelle de 0^m,35 de rayon. Ses paliers reposent sur un chevalet en bois solidement fixé dans le sol. Une pièce de bois non équarrie frottant sur la jante forme frein. L'impulsion est donnée par un ou deux hommes à la manivelle, de telle sorte qu'on peut à volonté remonter des charges.

La figure 14 (Pl. XV) montre la disposition de la poulie de retour portée par le chevalet releveur. Son diamètre est de 1^m,10.

On verra, représentée (*fig.* 15, Pl. XV) la gorge des deux poulies. Elle est moulée avec soin, non tournée.

Le boulon d'attelage de la chape de suspension est relié au câble de traction par une courte chaîne en fer de 7 millimètres, passée à son autre extrémité dans l'anneau d'une tige de fer à section carrée (*fig.* 16, Pl. XV). Cette tige porte une rainure demi-circulaire dans laquelle pénètre le câble de traction : on rend la connexion parfaite à l'aide d'une véritable épissure pratiquée de part et d'autre sur $0^m,90$ de longueur.

Ajoutons quelques prix relatifs à cette installation :

Le chariot d'ancrage en fer avec ses vérins et accessoires est évalué	**720fr**
Chevalet en chêne et madriers contre-fiches	**190**
Poulies motrice et de retour, chevalet, etc	**225**
Attelage supérieur	**200**

NOTE

SUR UNE EXPLOITATION DE DIAMANTS

(PRÈS DE DIAMANTINA

(PROVINCE DE MINAS GERAËS, BRÉSIL).

Par M. A. de BOVET, ancien élève de l'École nationale supérieure des mines.

La région parcourue par le haut Jequetinhonha et ses premiers affluents, aux environs de la ville de Diamantina, forme un vaste plateau à environ 1.100 mètres d'altitude moyenne, limité vers l'est par la chaîne de séparation des tassins du Jequetinhonha et du Rio Doce et vers le sud-ouest par la chaîne de séparation des bassins du Jequetinhonha et du Rio das Velhas : ces chaînes se réunissent entre les villes de San-Gonçalo et du Serro et sauf au pic d'Itambé, le plus haut sommet de la région, ne s'élèvent qu'à une faible hauteur au-dessus du pays environnant.

Le fleuve et ses affluents ont un régime absolument torrentiel : ils ont peu à peu creusé leur lit et coulent aujourd'hui à des profondeurs de 300 et 400 mètres au-dessous du niveau général du plateau, au fond de vallées coupées à pic, et dont la largeur en haut est souvent comparable à la profondeur.

Le voyageur qui arrive dans cette région aux environs de San-Gonçalo et viendra successivement traverser le Jequetinhonha, puis le Ribeirãõ do Inferno, le rio Pinheiro, n'aperçoit devant lui qu'une vaste plaine pierreuse et aride, où seule la ville de Diamantina, bâtie sur un mamelon, arrête sa vue et ne soupçonne l'existence de ces profondes découpures qu'au moment où il arrive au bord et où il lui faut péniblement descendre pour remonter aussitôt par de véritables sentiers de chèvres.

Toute cette région a produit et produit encore du diamant : on y peut distinguer tout d'abord trois sortes de gisements : les gisements de rivière, les gupiarras et les dépôts du haut plateau. Tous sont des dépôts d'alluvions ; le diamant plus ou moins roulé y est mêlé à une masse de graviers, eux aussi inégalement roulés, et un examen attentif permet d'y reconnaître toute une série de minéraux dont voici la liste :

Quartz.
Rutile ordinaire.
Rutile octaédrique.
Anatase.
Arkansite.
Fer titané.
Tourmaline.
Fibrolite.
Klaprothine.
Psilomélane.
Grenat.
Talc.
Mica.
Yttrotantale.
Monazite.
Disthène.
Oligiste ordinaire.
Oligiste octaédrique.
Pyrite altérée.
Limonite.
Fer magnétique.
Hematite.
Pyrite.
Phosphates hydratés de composition complexe.
Silex.
Jaspe.
Staurotide.
Sphène.
Euclase et topaze.
Or.

Tous ces minéraux qui accompagnent le diamant sont bien connus des mineurs du pays qui, d'après leur ressemblance avec divers objets à leur usage journalier, les

ont baptisés à leur façon. C'est ainsi que les fins cristaux de rutile ont reçu le nom d'*agulhas* (aiguille), ceux de disthène *palha de arroz* (paille de riz); la tourmaline roulée s'appelle *feijaõ* (le haricot noir commun du pays), le Klaprothine *pedra de anil* (pierre d'indigo), les phosphates hydratés *favas* (fèves), etc., etc. La composition de ces « favas » est très complexe : toutes contiennent de l'acide phosphorique en abondance, quelques-unes un peu d'acide chlorhydrique. M. Damour y a trouvé avec de l'alumine et de la silice, de l'yttria, du lantane, du didyme, et il y a signalé une série où l'acide titanique est abondant avec également de l'yttria et du didyme. Dans leur ensemble tous ces minéraux sont englobés sous le nom général de *formacões* (formations), et chacun sait fort bien dans la région que là où les formations sont totalement absentes, il est inutile de chercher du diamant.

Dans les gisements de rivière le minerai constitué par la réunion du diamant et des divers formacões, le tout considérablement roulé, mêlé à de l'argile et à une très forte proportion de gravier quartzeux forme ce qu'on appelle du *cascalho*. Le mot n'est pas traduisible et désigne proprement, pour ces gisements, le minerai de diamant.

Le cascalho repose au fond du lit des rivières, sur la roche du fond que les mineurs du pays désignent, quelle que soit sa nature, par le nom de *pisarra* : il est recouvert d'abord d'une couche de blocs de rocher, puis d'une épaisseur variable de sable stérile, le cascalho pouvant ainsi se trouver à une profondeur au-dessous du fond de l'eau variant de quelques centimètres jusqu'à 20 et 30 mètres.

La quantité de *formations* mêlées au cascalho est très variable; tous les minéraux mentionnés ci-dessus ne se rencontrent pas forcément dans un cascalho donné et

les espèces dominantes varient d'un point à un autre, surtout d'une rivière à une autre. Tous n'ont pas du reste la même valeur comme indice de l'existence du diamant; c'est ainsi que ceux auxquels, dans la région dont je m'occupe, les mineurs attachent le plus d'importance sont les *feijões* (tourmaline roulée), les divers oxydes de titane, particulièrement l'anatase, les oxydes de fer, les favas, les siricorias, nom donné à un ensemble de pierres transparentes ou translucides où l'on trouve l'anatase, la topaze, l'euclase, la monazite, des klaprothines transparentes, etc., etc. Dans des siricorias provenant du Ribeirão do Inferno M. Damour a signalé, à la séance du 12 juin 1884 de la Société de minéralogie, un phosphate hydraté d'alumine et de chaux dont il a fait l'analyse.

D'autres formations qui semblent provenir surtout de la destruction des roches à travers lesquelles les rivières ont creusé leur lit n'ont aucune importance comme indice du diamant; la klaprothine semble être dans ce cas.

Le cascalho peut avoir plus ou moins de consistance selon la proportion d'argile qu'il contient, mais c'est essentiellement une matière meuble. Parfois on trouve les éléments du cascalho agglomérés par un ciment ferrugineux, formant alors des blocs généralement de petite dimension, mais durs et qu'il faut briser pour trouver le diamant qui y peut exister : ces sortes de conglomérats solides prennent dans le pays le nom de *canga;* avec plus de précision on peut dire canga de diamant, car ce mot s'applique dans la langue du pays à d'autres roches formées de la même façon, par exemple à la roche formée de morceaux brisés de fer oligiste agglomérés par un ciment d'hématite rouge et qu'on nomme canga de fer.

Le cascalho est loin d'être réparti uniformément sur le

lit des rivières : il y affecte une disposition en chapelet, le lit présentant lui-même une allure irrégulière et formant une série de parties profondes séparées par des points où les roches viennent affleurer au niveau de l'eau. Les parties les plus profondes forment des sortes de puits (*poçaõ*, dans le langage des mineurs) où naturellement le cascalho s'est accumulé.

Indépendamment de cette première division sommaire, il y a lieu de distinguer des points particulièrement riches, des *caldeiroẽs* ou des canaux.

Un *caldeiraõ* est proprement une marmite de géant torrentielle : on en trouve jusqu'à des dimensions considérables tant en diamètre qu'en profondeur dans les régions où la disposition des rives a facilité la production de mouvements tourbillonnants. Ce sont des points de richesse maxima; il est facile d'en comprendre la raison. L'usure produite par le frottement des graviers entre eux ou contre les parois, usure aidée en outre par la présence du diamant, a dû amener peu à peu les grains de gravier à une tenuité suffisante pour qu'ils puissent être rejetés. Le même effet ne s'est produit sur le diamant qu'à un degré à peine sensible, et chaque diamant tombé dans un caldeiraõ avait toute chance de n'en plus sortir. Un caldeirãõ constitue certainement de la sorte un remarquable appareil d'enrichissement pour le minerai de diamant, et on en çite, dont les dimensions n'avaient rien d'excessif, qui ont donné jusqu'à 8.000 et 10.000 carats du précieux minéral.

Quant une de ces excavations accidentelles dans les roches du lit d'un cours d'eau, au lieu d'avoir une section circulaire, devient très longue en conservant une faible largeur, elle prend le nom de canal; la direction générale d'un canal est d'ordinaire celle des couches des roches à travers lesquelles il a été creusé, et il se trouve de la sorte tantôt accompagner la direction générale de la

rivière, tantôt la traverser. Le creusement des canaux paraît dû à l'existence, au point où ils sont formés, d'une veine de moindre dureté, soit d'une couche de quatrzite moins dur au milieu d'autres plus durs, ce dont on trouve dans la région des exemples fréquents, soit d'une couche de schistes plus ou moins décomposés au milieu des quartzites. On en trouve aussi quelques-uns qui résultent du même phénomène d'érosion que la vallée de la rivière, là où l'érosion a entamé les couches successives de façon à leur laisser une disposition en forme de gradins d'escalier.

Il a dû se produire dans ces excavations longues et étroites, quelque chose d'analogue à ce qui se passait dans les caldeiroẽs, quoiqu'avec moins de netteté, et en effet les dépôts qu'on y trouve sont généralement riches.

D'autre part, d'après les observations des mineurs de cette région, les points où la roche du fond (*pisarra*) est partout molle, sont presque toujours pauvres; et en effet, il n'aura pu s'y produire ni caldeiroẽs ni canaux.

En tenant compte des diverses indications données ci-dessus, il sera en général facile de se rendre compte de la probabilité de plus ou moins grande richesse que peut ou a pu présenter un point donné; étant bien entendu toutefois que là où le mouvement de l'eau est très violent, comme par exemple au pied d'une cascade, la violence même des remous a dû suffire à empêcher tout dépôt.

A mesure qu'en descendant le cours de ces rivières on s'éloigne de leurs sources, le diamant qu'elles donnent devient de plus en plus petit, d'où une sérieuse probabilité que le point de départ de cette pierre doit être cherché dans la région des sources.

Les gisements dits de *gupiarra* se trouvent soit sur la rive des rivières, soit sur de petites terrasses situées sur

le flanc des vallées et à toute hauteur, depuis le fond actuel jusqu'au niveau général du plateau. Ce sont toujours des dépôts essentiellement limités en étendue. Le minerai de diamant y est formé par la même association de minéraux que dans les rivières et s'appelle encore du cascalho; mais soit le diamant, soit les minéraux qui l'accompagnent y sont beaucoup moins roulés et la différence d'aspect est d'ordinaire assez nette pour qu'il soit possible à première vue de dire si du cascalho provient d'une rivière ou d'une gupiarra.

Entre ce dépôt de cascalho et la roche on trouve un dépôt d'une épaisseur variable, en général faible, d'argile ou de sable, au-dessus du cascalho une autre couche variable de terre rouge argileuse.

Les formations dominantes dans une gupiarra sont les mêmes que dans le cascalho de la rivière à la vallée de laquelle appartient la gupiarra.

En un point donné d'un cours d'eau le minerai des gupiarras que l'on peut rencontrer successivement en s'élevant depuis le fond jusqu'au bord du plateau est de moins en moins roulé à mesure qu'on s'élève davantage.

Le long du cours de la rivière le cascalho des gupiarras est de plus en plus roulé à mesure qu'ou s'éloigne davantage des sources.

Quand il est peu roulé, le minerai de gupiarra s'appelle parfois *gorgulho acascalhado* ou même *gorgulho*, mais le véritable gorgulho est en fait le minerai que l'on trouve sur le haut plateau dans les parties restées intactes entre les vallées.

Sur ce plateau on trouve parfois le diamant à fleur du sol, répandu avec un gravier grossier où domine le quartz dans les anfractuosités de la roche qui forme le sel, ce qui fait dire aux mineurs qu'on trouve le diamant dans les racines de l'herbe. Mais en général le gorgulho se trouve en couches horizontales formées d'un mélange de gravier

grossier et de terre rouge plus ou moins argileuse. Tous ces matériaux sont à peine roulés ; le diamant y a ses arêtes nettes, ses faces souvent rugueuses. Parmi les formations qui l'accompagnent, les plus lourdes, telles que les oxydes de fer, sont celles qui dominent. Souvent la couche de gorgulho est intercalée entre une couche d'argile à la partie inférieure qui repose directement sur le sol et est un peu diamantifère, et une couche supérieure stérile de terre rouge d'épaisseur très variable. Les surfaces de séparation de ces couches sont parfaitement horizontales, ce qui conduit naturellement à l'idée d'un dépôt fait dans une eau à peu près stagnante. La distinction de ces couches est très nette et facile : dans certaines parties de quelques gisements, comme par exemple à Boa Vista, elle devient encore plus facile grâce à la présence d'une grande quantité de morceaux de quartz hyalin. Ces fragments de quartz ne sont pas roulés du tout; ils présentent à Boa Vista des parties laiteuses qui leur donnent exactement l'aspect d'un bloc de verre dévitrifié par places.

On trouve plus facilement de gros diamants dans ces gisements de plateaux que dans ceux de gupiarra et surtout de rivières; mais rapporté à un volume déterminé de minerai le diamant y est plus rare et aussi les diverses formations qui l'accompagnent.

Les lits des rivières sont creusés à travers des roches quartzeuses de dureté très variable : on y peut distinguer, avec MM. Gorceix et Derby, deux étages : en bas des quartzites micacés avec mica-vert, fer oligiste, les mêmes que ceux de la région aurifère des environs d'Ouro Preto ; on y rencontre intercalées quelques couches de schistes : au-dessus des quartzites grenus, parfois de véritables grès qui forment l'étage supérieur. Le tout est recouvert par places de conglomérats à très gros galets roulés.

Quoique des phénomènes de soulèvement aient pu contribuer à établir la direction générale des principaux cours d'eau de la région, par exemple du Jequetinhonha, les vallées au fond desquelles coulent ces rivières sont en grande partie des vallées d'érosion. De distance en distance la vallée toujours étroite se rétrécit encore; l'eau circule au fond d'un couloir à parois presque verticales creusées en plein rocher sur des hauteurs considérables. Ces couloirs étroits, analogues aux cañons du Colorado et que l'on rencontre sur le Jequetinhonha aussi bien que sur ses affluents, sont en général creusés à travers des couches dont la direction traverse la rivière et sont manifestement des produits d'érosion. Il y a donc eu en ces points, à une époque antérieure, de véritables barrages naturels qui ont maintenu d'abord le niveau de l'eau au niveau du plateau et ne lui ont permis de s'abaisser petit à petit qu'au fur et à mesure que l'érosion les creusait davantage.

Nous pouvons maintenant comprendre comment ont pu se former les divers gisements.

Ceux du haut plateau se sont produits à l'époque où les rivières coulaient sensiblememt au niveau de ce plateau et pouvaient, au moins pendant la période des crues, le couvrir complètement.

Puis quand le travail de creusement des vallées a été assez avancé pour que le lit des rivières fût déjà nettement déterminé, les crues ont abandonné sur les rives seulement des dépôts qui ont pu y subsister toutes les fois qu'après le moment de leur formation l'approfondissement de la vallée a été assez rapide pour qu'une nouvelle crue ne vienne pas les remanier. Et cela surtout si le régime des pluies était alors comparable à ce qu'il est aujourd'hui, c'est-à-dire si les années de grandes crues ne revenaient qu'à d'assez longs intervalles. La formation des vallées a du reste naturellement entraîné la

disparition d'une partie des gisements formés sur le plateau et leurs éléments ont contribué à la formation des dépôts ultérieurs. Les dépôts ainsi produits sur les rives et abandonnés par suite de l'approfondissement ont produit les *gupiarras*.

Les matériaux restés au fond du lit et ceux qui, déposés sur la rive lors d'une crûe, auront été repris par la crue suivante accompagnant jusqu'au bout l'approfondissement de la vallée, sont enfin venus former le cascalho sur le lit actuel dès que le travail d'érosion a été suffisant pour donner à la rivière son cours normal eu égard au relief actuel du continent.

Le cascalho de rivière est beaucoup plus roulé que ne le comporterait la longueur maxima du transport qu'il aurait dû subir en admettant qu'il ait son point de départ le plus loin possible, c'est-à-dire aux sources même des cours d'eau diamantifères. Il doit nécessairement cet aspect surtout aux remaniements constants qu'il a dû subir sur place et dont rend compte le procédé de dépôt que je viens d'indiquer. Cette reprise constante par l'eau des mêmes matériaux a dû nécessairement produire une usure très active des différents éléments du cascalho, usure beaucoup plus rapide du reste pour tous les autres minéraux que pour le diamant, et amener ainsi par un procédé analogue à celui des caldeirões, un véritable enrichissement. Et de fait le cascalho de rivière est le plus riche des minerais de la région, tandis que le gorgulho du plateau s'il donne de plus grosses pierres n'en est pas moins le plus pauvre si l'on rapporte la quantité de diamants à l'unité de volume de minerai, sans tenir compte de la différence de valeur commerciale que peut avoir un même poids de diamants, selon qu'il est réparti entre un plus ou moins grand nombre de pierres. De même les différents minéraux qui accompagnent les diamants sont dans le cascalho de rivière non seulement

plus roulés et plus brillants, mais encore de plus petites dimensions que dans les autres gisements. A ce point de vue la comparaison entre les minerais provenant des divers dépôts est fort intéressante.

Naturellement les éléments provenant de l'usure des roches ainsi creusées se sont mélangés au cascalho; c'est ainsi que la klaprothine abondante dans certains quartzites se trouve dans certains cascalhos en grande quantité et n'existe pas dans d'autres.

Le diamant du reste ne peut avoir la même origine puisqu'on le trouve dans les dépôts du plateau supérieur, et c'est ailleurs qu'il faut chercher son point de départ.

Il existe à São João da Chapada un très intéressant gisement qui ne peut être rapporté à aucun des trois types que j'ai étudiés jusqu'ici. Le diamant y a été et y est encore exploité dans des couches d'argile diversement colorées. L'exploitation commencée aux affleurements a produit, en suivant les couches en profondeur, à ciel ouvert, une grande tranchée de plus de 40 mètres de profondeur au milieu, d'une largeur moyenne de 60 à 80 mètres et de près de 500 mètres de long. Cette tranchée a coupé à son sommet, perpendiculairement à sa direction, la chaîne de séparation des eaux des bassins du Jequetinhonha et du Rio das Velhas (Pl. XVI, *fig.* 1). Du fond, au milieu, naissent deux petits ruisseaux qui dès leur source coulent en direction opposée; l'un, le Ribeirão Duro, va au Caethé Mirim affluent du Jequetinhonha; l'autre, Ribeirão de São João va au Rio do Ouro Fino et par là au Rio das Velhas et São-Francisco. Cette tranchée est en entier creusée à travers une succession de couches d'argile diversement colorées. La direction des travaux est sensiblement celle des couches, qui viennent affleurer sur la paroi est de la coupure en bandes horizontales bien faciles à distinguer grâce à cette variété de coloration. Ces couches d'argile sont nettement stratifiées en concordance avec les

quartzites au milieu desquels elles sont intercalées. La direction est sensiblement nord-sud et l'inclinaison de 55° environ vers l'est. La comparaison entre la forme des bords de la tranchée et un essai de reconstitution des affleurements me fait voir qu'il s'agit plutôt d'une lentille que d'une couche de grande étendue en direction. Ces argiles semblent provenir de la décomposition de schistes : elles sont traversées par une quantité de petites veines de quartz : la plupart de ces couches sont stériles. MM. Derby et Gorceix, qui ont étudié ce gisement (*), en distinguent trois comme diamantifères, et M. Gorceix a signalé la très grande analogie qu'il présente avec les carrières de topaze des environs d'Ouro-Preto déjà décrites par lui. Les couches de quartzites qui recouvrent en concordance de stratification ces argiles appartiennent du reste à l'étage inférieur, quartzites à mica vert et à itacolumite de cette même région.

L'exploitation de ce gisement, autrefois active et rémunératrice, est aujourd'hui fort languissante. Il n'en faut pas chercher, je crois, d'autre raison que l'approfondissement très rapide des travaux à cause de l'inclinaison considérable des couches, qui fait que la mise au jour d'un mètre cube de minerai, très facile près des affleurements, exige maintenant un découvert trop considérable : la nature du terrain rendrait presque impossible un travail souterrain et, au point où en est la tranchée, il faudrait en outre des travaux considérables pour amener l'écoulement de l'eau. Les dépenses élevées qu'entraînerait la poursuite de l'exploitation sont d'autant moins admissibles que le minerai paraît très pauvre.

Mais le diamant qu'on obtient à São João est en cris-

(*) M. Derby, *Annales du Muséum de Rio-Janeiro*, vol. V, 1881. — *American Journal of science*, juillet 1882. — M. Gorceix, *Comptes rendus*, n° 25, 1881.

taux très nets à arêtes vives, ne présentant plus trace d'usure; il en est de même des minéraux qui l'accompagnent quelle que soit leur dureté propre, car on rencontre ici encore à côté du diamant ses satellites constants : de même que le minerai est pauvre en diamants il l'est aussi en formations, mais on y trouve cependant comme dans les divers cascalhos les oxydes de titane, les divers oxydes de fer en très grande abondance, les tourmalines, etc., toujours en cristaux très nets. La situation des couches d'argile en concordance de stratification avec les terrains environnants, la netteté des cristaux parfaitement intacts, la pauvreté même du minerai comparé aux divers cascalhos qui tous ont subi une préparation mécanique plus ou moins avancée, sont autant d'arguments à l'appui de la probabilité grande que le diamant se trouve là à son point de formation. C'est du reste à cette conclusion qu'arrivent aussi MM. Gorceix et Derby.

Le fait que l'on retrouve à São João à côté du diamant les éléments principaux qui l'accompagnent dans le cascalho et la situation topographique du gîte rendent vraisemblable que les divers dépôts d'alluvions ont dû se former avec des matériaux provenant de ce gisement, ou de gisements analogues.

Or les terrains situés autour de Diamantina et à l'ouest de cette ville jusqu'à São João sont surtout formés des quartzites inférieurs avec couches de schistes (*).

Au gisement de la Sopa, l'un des principaux parmi les gisements du haut plateau, M. Derby (**) signale au-dessous du dépôt normal du cascalho, au fond de l'excavation, l'apparition de couches inclinées de schistes et

(*) M. Gorceix, Conférence de la Sorbonne. — *Revue scientifique*, mai 1882.

(**) *American Journal of science*, juillet 1882.

quartzites schisteux décomposés et traversés par des veines de quartz et de lithomarge.

A Boa-Vista, près Curralinho, autre région importante par ses dépôts de gorgulho, le fond n'est pas découvert, mais je croirais volontiers qu'on y pourrait trouver quelque chose d'analogue, car les fragments de quartz hyadin disséminés dans la masse de gorgulho ne paraissent pas avoir subi un transport sensible.

Il faut enfin noter avec M. Derby qu'une ligne passant par São João et la Sopa et prolongée, traverse une série de gisements importants : elle vient justement passer aux environs de Curralinho et Boa-Vista, l'un des points les plus notables de toute la région (voir la carte, *fig.* 1, Pl. XVI). La direction de cette ligne coïncide sensiblement avec une des deux directions principales des roches de la région.

Au point de vue de la répartition du diamant toutes les rivières de la contrée ne sont pas également riches. Celles qui descendent vers le Rio das Velhas : Rio de Ouro Fino, Rio Pardo pequeno, Rio de Parauna, n'ont que peu de diamant, elles sont surtout riches en or.

Le Jequetinhonha est formé par la réunion du Jequetinhonha do Campo et du Jequetinhonha do Matto, ou Rio das Pedras, dont la direction continue celle du fleuve, tandis que le premier paraît n'être qu'un affluent. Or ces affluents de la rive droite, Rio Capivary, Jequetinhonha do Campo, Rio Manso, tout en ayant du diamant, n'ont jamais passé pour bien riches.

Les rivières réellement riches sont, avec le Jequetinonha, les affluents de la rive gauche, Ribeirão do Inferno, Rio Pinheiro, Rio Caéthe Mirim, et on ne peut pas n'être pas frappé à l'inspection de la carte (Pl. XVI, *fig.* 1) de la relation évidente qui existe entre la région où l'existence de gisements analogues à celui de São João paraît probable et de celle où ces divers cours d'eau prennent leurs sources.

Le plateau au milieu duquel est située la ville de Diamantina est absolument nu; l'herbe même y est rare et on ne trouve un peu de végétation que sur le flanc des vallées. Partout la roche est à nu ou recouverte de sable quartzeux provenant de la désagrégation des quartzites à grains fins, sable que le vent accumule dans les points les plus bas et que les eaux de pluie charrient quand la pente le permet. Il n'en a pas toujours été de même et l'on prétend que la ville de Diamantina fut à l'origine construite avec des bois coupés sur place, et de fait les terres rouges qui recouvrent les dépôts de gorgulho sont propres à la végétation; mais l'exploitation de ces gisements, nécessitant l'enlèvement préalable de cette couche de terre, a activé la disparition des quelques forêts qui pouvaient exister. L'eau qui tombe sur ce plateau va donc immédiatement à la rivière; quant à celle qui tombe sur les flancs des vallées, la pente y est trop forte pour empêcher le ruissellement. De là la rapidité et la violence des crues des rivières dès que s'établit la saison des pluies. Par exemple le Ribeirão do Inferno au Portão de Ferro peut avoir 35 mètres de large : il débite pendant la saison sèche de 1.500 à 1.800 litres et l'eau n'occupe pas la moitié de la largeur du lit sur une hauteur de quelques centimètres. Vienne un jour de pluie, et la rivière répand son lit sur toute sa largeur et sur des épaisseurs de 3 et 4 mètres. Il suffit de deux ou trois heures pour que la crue atteigne son maximum; elle dure peu et la rivière retombe presque aussi vite qu'elle était montée.

L'année se partage en deux saisons distinctes. Du mois de mai jusqu'à la fin de septembre la pluie est tout à fait exceptionnelle; encore quand il en tombe n'est-ce que fort peu de chose. De la fin de septembre au mois de mai on a soit des orages, soit des pluies persistantes qui produisent des crues violentes à intervalles très rappro-

chés. Cette division très nette de l'année influe sur l'exploitation du diamant.

Pour les gisements de rivière l'exploitation n'est possible qu'après dérivation de la rivière sur la longueur que doivent occuper les travaux. Cette dérivation s'obtient au moyen d'un barrage et d'un canal latéral sur une des rives quand celles-ci s'y prêtent, sinon au moyen d'un canal en planches porté sur pilotis.

Dans quelques cas, assez rares du reste, on peut avec les ressources locales construire des barrages capables de résister aux crues tout en laissant passer par-dessus le barrage une partie des eaux; mais étant donnée la violence des crues, l'établissement d'un dispositif qui permettrait de conserver les travaux à sec durant l'année entière au moyen d'un barrage et d'un canal entraînerait à des dépenses hors de proportion avec les résultats qu'on peut raisonnablement attendre d'une exploitation même heureuse. Et cela d'autant plus qu'avec la disposition en chapelet du cascalho, et après les travaux d'exploitation déjà si nombreux depuis l'époque de la découverte du diamant, il n'y a presque jamais intérêt à assécher le lit sur une grande longueur. Il en résulte tout naturellement que les exploitations en rivière ne peuvent se faire que durant la saison sèche.

Il en est de même, et pour les mêmes motifs, de l'exploitation des gupiarras qui peuvent exister tout au bord des rivières, et dont on obtient l'isolement au moyen d'une digue longitudinale.

Les gupiarras élevées peuvent être exploitées en tout temps. S'il y a au-dessus du cascalho un découvert un peu considérable à exécuter, on peut, en général, faciliter ce travail en menant à un niveau convenable l'eau de quelque ruisseau. Quand ces ruisseaux n'ont presque pas d'eau, et même pas du tout durant la saison sèche,

et le cas n'est pas rare, on exploite pendant la saison des pluies.

Pour les gisements des plateaux il y a en général un découvert considérable à faire pour mettre à jour le cascalho. Avec les moyens primitifs en usage dans le pays, où la brouette elle-même est à peu près inconnue et où les transports de terre se font exclusivement dans des sébilles de bois portées sur la tête des nègres, un pareil travail serait extrêmement dispendieux. Les gisements sont topographiquement dans une situation telle qu'on ne peut d'ordinaire y amener aucun cours d'eau. Dans ces conditions, on attend pour les exploiter l'arrivée de la saison pluvieuse. Les eaux de pluie sont captées dans de grands réservoirs : on a pris soin de détruire la végétation et d'arracher les racines dans les points où l'on veut exécuter le découvert, et, en dirigeant convenablement l'écoulement de l'eau des réservoirs, on arrive à lui faire charrier une partie de la terre qui recouvre le gorgulho. Cette opération se répète chaque fois qu'on a pu emplir les réservoirs. Ces exploitations ne sont donc en activité que durant la saison pluvieuse. Il est clair, du reste, qu'avec des procédés plus perfectionnés, des tombereaux et surtout de petits chemins de fer les travaux pourraient se poursuivre pendant toute l'année. Ce serait une installation dispendieuse, mais il parait y avoir encore quelques gisements d'une étendue suffisante pour qu'elle puisse être rationnelle.

Le gisement de São João, qui est au point de vue de l'exploitation dans des conditions comparables à celles des autres gisements du plateau, a été exploité par ces mêmes procédés.

De là la distinction que l'on fait dans le pays entre les divers gisements que l'on nomme Lavras de la saison des pluies ou Lavras de la saison sèche. Pour ces dernières exploitations dans le lit des rivières ou sur leur bord,

après deux ou trois crues qui suffisent à tout combler, toute trace des travaux faits a disparu, sauf les trous creusés dans les roches des rives pour y placer la pointe des pilots qui supportent le canal quand l'exécution d'un canal en planches a été nécessaire.

Toute cette région est exploitée depuis l'époque de la découverte du diamant, vers 1729 : il reste bien peu de points qui n'aient point été touchés et les indications que l'on peut tirer aujourd'hui du mode de formation des dépôts en rivière au sujet de leur richesse probable n'ont que bien peu de valeur. D'autre part, il n'existe pas de tradition écrite, détaillée, au sujet des anciens travaux, et la tradition orale, comme dans tous les pays habités par une population à imagination vive, ne doit être acceptée qu'avec une grande réserve.

Les procédés d'exploitation sont restés jusqu'ici ce qu'ils étaient à l'origine, ou bien peu s'en faut; j'ai eu occasion, dans un précédent travail (*), d'indiquer sommairement en quoi ils consistent : comme on disposait alors, pour des prix infimes, d'un très grand nombre de travailleurs, il est permis de croire que les anciens n'ont rencontré de difficultés sérieuses que là où il aura fallu descendre à de grandes profondeurs avec des pompes trop imparfaites, ou peut-être, à un degré moindre, là où le volume de déblais à faire était excessif dans un espace restreint.

Parmi les points que la tradition signale comme étant encore susceptibles d'une exploitation fructueuse, il est donc permis de croire que ceux qui offrent réellement quelques chances de succès sont ceux où il est possible de constater des difficultés de cette nature.

Comme d'autre part la main-d'œuvre est à la fois plus

(*) *Annales des mines*, 1[er] vol. de 1883, p. 179 à 208.

rare et plus chère qu'elle n'était alors, comme en outre la force motrice rendue disponible par la création d'un canal de dérivation est en général plus que suffisante, il semble tout indiqué pour l'exploitation de ces points difficiles, si l'on croit devoir la tenter à nouveau, d'essayer de remplacer, autant que faire se pourra, le travail purement manuel par celui d'appareils mécaniques.

On y peut parvenir de deux façons : soit au moyen d'un moteur puissant qui concentrerait en un point toute l'extraction des déblais et nécessiterait l'organisation d'un roulage au fond; soit au moyen d'une série de moteurs de moindre puissance répartis le long du lit à exploiter et correspondant à autant de chantiers distincts. Vu la nature des travaux à exécuter, le second système semble évidemment préférable : il n'y aura nulle difficulté à son emploi toutes les fois que l'on disposera, le long du canal de dérivation, d'un espace suffisant pour y installer les moteurs et les appareils de levage. Mais quand la partie de rivière à exploiter forme un couloir étroit, à parois presque verticales, on n'y peut parfois trouver qu'à grand'peine l'espace nécessaire pour l'établissement du canal; on ne peut plus installer de moteurs que tout à l'extrémité et il faudrait, si l'on voulait persister à employer le second mode de travail, renvoyer la force aux divers appareils de levage répartis le long des chantiers. Or, dans ces pays d'un accès difficile, où les transports sont non seulement longs et pénibles, mais encore terriblement chers (il faut compter environ 2.000 francs la tonne de France à Diamantina), on doit écarter *a priori* toute solution qui nécessiterait le transport d'un matériel lourd et encombrant; on ne peut songer pour des travaux de cette nature à des transmissions de force par l'air comprimé : l'emploi de câbles télodynamiques me paraîtrait même bien difficile : au contraire l'emploi de transmissions électriques me semble

admissible, surtout si l'on songe qu'il ne s'agit nullement de transmissions à grande distance et que rien ne s'oppose à ce que chaque moteur électrique ait sa machine génératrice distincte ; que l'on se trouve en un mot dans des conditions où, dès à présent, le transport de la force par l'électricité peut être considéré comme vraiment pratique.

Une première tentative d'exploitation conforme aux idées que je viens d'indiquer a été faite, en 1883, sur le Ribeirão do Inferno à 6 kilomètres environ de son confluent avec le Rio-Jequetinhonha, au lieu dit le Portão de Ferro.

En ce point, le Ribeirão se dévie contre une montagne à pic qui forme sa rive gauche et coule pendant environ 500 mètres presque perpendiculairement à sa direction moyenne. Cette partie du lit a été creusée par érosion dans des couches de quartzites dont la direction coïncide à quelques degrés près avec celle de la rivière en ce point et dont l'inclinaison est de 30° vers le sud-est. Sur la rive gauche la montagne s'élève presque verticalement jusqu'à une grande hauteur. Sur la rive droite, les couches présentent une disposition en escalier de sorte que cette rive, sur une assez grande largeur, s'élève avec une inclinaison moindre que celle des couches : la même disposition se continue dans le lit de la rivière dont la partie la plus profonde se trouve ainsi immédiatement sous la rive gauche (Pl. XVI, *fig.* 5). Aux deux coudes que fait la rivière, à chaque extrémité de la *Lavra*, les roches affleurent au niveau de l'eau et l'intervalle compris entre ces deux coudes forme ainsi une sorte de « poção » allongé, dont la profondeur maxima est de près de 16 mètres et dont le fond est sillonné par les canaux formés par le ressaut des couches.

Ce point avait été exploité au commencement du siècle par l'administration Portugaise de l'*Extracção* qui en

avait tiré, dit-on, de grandes richesses; mais, d'après la tradition, les mineurs d'alors auraient été conduits à poursuivre le cascalho jusque sous la montagne qui forme la rive gauche, des affaissements se seraient produits, et, n'osant pas continuer leurs travaux souterrainement, ils y auraient abandonné de grandes quantités de minerai. A l'appui de ces dires, on citait le cas d'un des principaux mineurs de Diamantina qui, confiant dans la tradition, avait entrepris une exploitation à cette même place il y a une quinzaine d'années, sur l'emplacement de la fouille n° 2 du plan (fig. 2, Pl. XVI), avait rencontré et suivi jusque sous la montagne un canal parallèle à la direction des couches, et avait dû abandonner ses travaux envahis par l'eau à la suite d'un violent orage au moment où la sonde lui indiquait du cascalho à quelques centimètres à peine de son front de taille.

Cet ensemble d'indications entraîna la conviction des quelques personnes qui cherchaient dans le pays des exploitations encore possibles et les décida à reprendre cette concession.

En fait, les résultats de la première année vinrent prouver, pour les points où l'on atteignit le fond, le mal fondé des espérances que l'on avait pu concevoir. Le canal des derniers exploitants fut retrouvé, fouillé jusqu'au bout : on n'y trouva, au lieu de cascalho, que du gravier roulé, sans formation, stérile.

Les grottes profondes dont la tradition affirmait l'existence sous la rive gauche n'existaient pas; tout au plus au fond de son lit, la rivière avait-elle entamé sa rive gauche, de telle sorte que les roches de cette rive surplombent le fond du lit, comme le montre la coupe verticale faite à travers la fouille n° 1 (*fig.* 4) et aussi la *fig.* 5, Pl. XVI. Là où les roches en surplomb n'offraient pas une solidité suffisante, les anciens avaient abattu à coups de mine les parties les plus saillantes, et soutenu le reste

avec des buttes qui furent retrouvées en place, ainsi qu'un escalier en bois descendant jusqu'au fond.

Tout l'intérêt de cette exploitation réside donc dans l'essai qui y fut fait de l'introduction dans ce pays de procédés de travail tout nouveaux, et c'est à ce titre que j'en ferai sommairement l'histoire.

Dans ces sortes d'exploitations, tout est à créer; il faut d'abord faire des chemins pour se mettre en communication avec les villes ou villages voisins, d'autres capables de donner passage à des chars pour les transports de bois, que dans le cas présent on put couper à environ 8 kilomètres des travaux, et des maisons pour tout le personnel. Ces maisons se font le plus simplement possible : une charpente grossière, des murs formés d'un grillage en bois à carreaux croisés dont les mailles sont remplies d'un mortier en terre argileuse et sable, un toit de chaume. Le tout est fait en bois non équarri; tout au plus le tour des portes et des fenêtres est-il fait avec des pièces dont on a grossièrement aplani les deux faces; il n'y entre à peu près ni chevilles ni clous; à peine quelques assemblages grossiers; les bois sont simplement attachés les uns autres avec des lianes que les forêts du pays produisent en abondance. De pareilles baraques sont encore assez solides pour durer quelques années. Toute cette installation est, dans cette région, du travail courant et se fait vite. Elle fut commencée au Portão de Ferro vers les derniers jours de décembre 1882, avec un petit nombre d'ouvriers : les chemins, les canaux nécessaires pour amener de l'eau potable, des maisons pour les ingénieurs, ouvriers spéciaux et surveillants, des casernes pour 200 ouvriers, les magasins, cuisines, hangars couverts pour forges et ateliers, tout était prêt pour les premiers jours de mars.

La région de Diamantina est difficilement abordable, surtout au point de vue du transport des objets lourds

et volumineux : la route directe ne peut laisser passer que des mulets, et encore par endroits avec difficulté : les chars sont obligés à un grand détour par Sabara et la vallée du Rio das Velhas d'où ils reviennent sur Diamantina par la vallée de la Parauna. Il y faut un très long temps : le matériel destiné au Portão de Ferro, expédié de France, partie le 1er octobre, partie le 1er novembre, n'a pu qu'à grand'peine arriver à destination dans les derniers jours d'avril. Il y faut surtout beaucoup d'argent, et on peut évaluer, pour les objets qui ne peuvent pas être transportés à dos de mulet, le prix de transport de la tonne de France jusqu'à Diamantina à environ 2.000 francs. Il y a donc nécessité évidente à réduire le plus possible le matériel à transporter, et à utiliser, autant que faire se peut, les ressources locales. Celles-ci se réduisent à peu près à de nombreuses essences de bois de qualité tout à fait remarquable, et que l'on peut amener sur place à bas prix. Le fer est rare et cher; pris dans le pays il coûte au moins, en barres brutes, 11 francs les 15 kilogrammes; amené de Rio, il atteint, à cause du transport, des prix bien plus élevés.

Dans ces conditions, on avait expédié pour l'atelier, outre les menus outils de charpentier et forgeron et une petite machine à percer, une scie circulaire et un tour à monter sur des bancs en bois faits sur place et qui étaient mis en mouvement par une roue de côté avec poulies de transmission en bois.

Pour l'exploitation on avait envoyé :

Les corps de pompes et pistons pour deux pompes Letestu, de 0m,30 de diamètre avec 40 mètres de tuyaux en fer ou cuir;

Des essieux montés en acier fondu pour wagonnets;

Des câbles en acier pour les plans inclinés;

Les parties métalliques des treuils pour ces mêmes plans inclinés;

Enfin une paire de machines Gramme de 8-4 chevaux.

Les tiges de pompes, caisses de wagon, rails, poulies de transmission étaient à faire sur place.

L'emploi d'une transmission électrique ne s'imposait pas au Portão de Ferro où la place ne manquait nulle part pour des installations différentes, mais on voulut en faire un essai pour savoir dans quelle mesure on pourrait compter sur ces appareils en vue d'autres concessions à exploiter ultérieurement et où ils pourraient rendre les plus grands services.. A l'époque où ces machines furent commandées, les résultats de leur emploi à la transmission de la force paraissaient encore douteux, et la Société Gramme les fit construire de façon qu'en cas d'insuccès elles pussent du moins servir à la production de lumière pour l'éclairage de nuit des travaux quand cela aurait été utile. Elles pouvaient transmettre un travail maximum de 4 chevaux avec une intensité de courant de 13 ampères et une force électromotrice de 360 volts en faisant, la machine génératrice 1.500 tours, et la machine motrice 1.200 tours par minute.

Une fois terminée l'installation des maisons, et en attendant que l'arrivée du matériel permît de s'occuper de la construction et de l'installation des machines, on s'occupa du canal de dérivation et du barrage. Il existait sur la rive droite un canal creusé dans le rocher, qui avait été exécuté autrefois par l'*Extracção;* il avait été partiellement comblé par les derniers exploitants qui ne s'en étaient pas servis, et il était complètement ouvert du côté de la rivière sur une grande partie de sa longueur. L'utilisation de ce canal s'imposait si l'on voulait assécher toute l'étendue de la concession : elle devait conduire à la construction d'un barrage capable de relever le plan d'eau de près de 5 mètres à cause de la cote de deux points du fond du canal. L'exécution du barrage sur cette hauteur était, en effet, plus facile que l'ap-

profondissement de ce canal en ces deux points à travers des quartzites d'une dureté exceptionnelle; cela devait, en outre, permettre l'emploi de roues en dessus. Dès lors, sous peine de donner au barrage une longueur démesurée, son emplacement était tout indiqué en un point où les deux rives s'élevaient presque verticalement à peu de distance l'une de l'autre, tandis que de part et d'autre de ce point la rive gauche se relevait beaucoup moins rapidement.

On commença par mettre en état la paroi Est du canal qu'il fallait fermer aux quatre points où l'on a indiqué des murs sur le plan en 1, 2, 3 et 4 (*fig.* 2 et 3, Pl. XVI). Ces murs furent faits à la façon du pays, avec de la pierre sèche, de l'herbe et de la terre. La face du côté de l'eau a un fruit très faible; elle est construite en pierres aussi grosses que possible, et les joints sont faits avec de l'herbe. Immédiatement en arrière et presque tout contre, on construit de même, mais en pierres plus petites, un mur parallèle : l'intervalle est rempli de pierre cassée et de sable quartzeux que l'on fait couler dans tous les interstices en l'arrosant abondamment à mesure qu'on le pose. L'épaisseur totale de ce mur est de $1^m,50$ à 2 mètres. La face d'arrière se fait de la même façon; on lui donne une disposition en gradins. L'intervalle entre les deux faces est rempli de terre argileuse et de menue pierre, dont on obtient le tassement en y jetant, à mesure qu'on y ajoute de la terre, de grandes quantités d'eau. On a représenté (*fig.* 6, Pl. XVI) une coupe à travers un de ces murs, montrant leur mode de construction.

L'herbe fraîche, placée entre les pierres des deux faces, reprend racine en partie, et au bout de quelque temps les murs ainsi construits acquièrent une grande solidité.

Le seul mur n° 3 avait un volume total de près de

1.100 mètres cubes; on avait employé à son exécution 1.350 journées de travail.

Le barrage fut construit par un procédé analogue avec addition d'un boisage pour augmenter sa résistance à la poussée de l'eau. Au point où l'on était obligé de le placer, la roche du fond était à une profondeur de près de 4 mètres, et d'autre part, eu égard à la pression qu'il aurait à supporter, on ne pouvait pas se contenter, comme cela se fait souvent dans le pays pour des barrages qui retiennent 1 mètre à $1^m,50$ d'eau, de l'élever simplement sur le sable. Il fut nécessaire, pour l'établir sur le rocher, d'exécuter en avant un barrage provisoire de faible hauteur et de dériver la rivière dans un canal en planche, comme il est indiqué sur le plan (*fig.*2) : on put ensuite fouiller le lit jusqu'à la roche à près de 4 mètres de profondeur, en maintenant les travaux à sec avec des pompes à main, non sans de sérieuses difficultés, car les roches, très fissurées, donnaient de l'eau de toute part. On aveugla le mieux possible ces venues d'eau, et on construisit le barrage, comme il est indiqué sur la coupe (Pl. XVI, *fig.* 7). En arrière de la face antérieure, on disposa une véritable grille en bois, les montants verticaux, espacés de mètre en mètre, les traverses horizontales de 50 en 50 centimètres, maintenue en arrière par des jambes de force. Contre cette grille on disposa des fascines et, entre ces fascines et le mur d'avant, de la terre très argileuse. Pour le reste, la construction était la même que pour les murs. Le barrage terminé ne présentait plus qu'une coupure, au fond de laquelle passait la rivière dans le canal en planches. Les parois en étaient maintenues à la façon de celles des tranchées d'égout par des planches et des traverses; en avant et au-dessus du canal elle était fermée par une cloison en planches calfatées appuyées contre le barrage, de sorte que pour fermer, il suffisait de mettre en place dans le canal et

au pied de cette cloison une porte toute prête, puis à remplir la coupure à la façon du reste du barrage (terre et pierre) en enlevant au fur et à mesure les planches et traverses qui la maintenaient.

Malgré le soin qu'on avait pris de boucher le mieux possible toutes les venues d'eaux par les fissures du fond, quand, le 18 juin, on voulut fermer le barrage et que l'eau eût monté de près de 3 mètres, la pression les fit rouvrir et l'eau trouvant sans doute un passage plus facile au contact des roches de la rive droite où le remplissage avait été difficile à faire, fit irruption avec une certaine violence, par le pied du barrage, entraînant un peu de remplissage. Le canal en planches n'avait heureusement pas été encore enlevé, et l'on put rouvrir à temps pour empêcher un désastre. On put réparer assez facilement les dégâts, et pour rendre impossible la sortie de l'eau dont on ne pouvait pas empêcher l'arrivée sous le barrage, on fit en arrière un troisième mur en pierre, un remplissage ordinaire entre ce mur et le barrage, et un talus en terre à la partie antérieure. Prévoyant, à la suite de quelque orage, la possibilité du passage de l'eau par-dessus le barrage, et pour empêcher qu'en retombant en arrière, elle enlevât ce nouveau remplissage, on le recouvrit avec deux rangs de fascines croisées et de gros blocs de pierres maintenus au moyen de piquets plantés dans la terre et de traverses horizontales. Dans les banquettes des murs d'arrière, l'herbe des joints avait été remplacée par de grandes fascines de façon à rendre très difficile l'arrachement des pierres sous l'action de l'eau. Le barrage eut alors la forme indiquée sur la coupe (*fig.* 7, Pl. XVI), et le 2 juillet on put de nouveau le fermer, cette fois avec un plein succès. L'eau cessa de couler à 7 heures du matin, et n'arriva à l'extrémité du canal qu'après 4 heures du soir : cela correspondait à une accumulation de

55.000 mètres cubes d'eau environ. Les filtrations au pied étaient absolument insigifiantes.

La rivière se trouvait à sec sur une étendue de près de 500 mètres, mais les roches de fond affleuraient à peu de distance en arrière du barrage, et dans la région AB du plan, région de peu de profondeur, le lit avait été, de l'aveu unanime des gens du pays, complètement nettoyé. A l'autre extrémité et sur toute l'étendue de C en D les roches affleuraient également, et là non plus il n'y avait rien à chercher.

Dans le reste, le point le plus intéressant était évidemment celui où fut faite la fouille n° 1 : c'était là, en effet, que devait se rencontrer la plus grande profondeur (de 15 à 16 mètres), là, par conséquent, que les anciens devaient avoir eu le plus de difficulté à parvenir jusqu'au fond. On y installerait les pompes qui, arrivant ainsi au plus bas, devaient maintenir à sec le reste des travaux.

La fouille n° 2 fut ouverte au point où les derniers exploitants affirmaient avoir rencontré du cascalho, comme je l'ai expliqué plus haut; le choix de cet emplacement s'imposait.

On voulait enfin ouvrir une troisième fouille en E, et l'on avait, dans ce but, préparé en T une prise d'eau pour les moteurs de ce chantier, mais le temps manqua absolument pour l'exécution de ces machines.

Le matériel, en effet, n'arriva au Portão de Ferro que dans les derniers jours d'avril. Il fallut d'abord monter le petit atelier, puis on s'occupa de la construction des engins nécessaires à l'exploitation avec toute l'activité que put permettre le nombre d'ouvriers suffisamment habiles, disponibles dans le pays.

On construisit d'abord une roue pour les pompes; elle fut placée en G (Pl. XVI, *fig.* 2) : elle utilisait une chute de 4 mètres avec un diamètre de $13^{m},72$. Elle avait $1^{m},05$ de largeur, $0^{m},285$ d'épaisseur de couronne

et 36 augets, et, avec un débit de 120 litres, devait donner 4 chevaux. Elle conduisit à l'origine une seule pompe, et par la suite deux pompes, système Letestu, de $0^m,30$ de diamètre et $0^m,90$ de course, et avec ces deux pompes il fut parfois nécessaire de faire faire à la roue jusqu'à 8 et 10 tours à la minute. Les tiges étaient en bois, assemblées à trait de Jupiter avec armatures en fer, guidées sur rouleaux en bois. A l'entrée de la fouille le coude était obtenu au moyen d'un petit chariot fait avec deux essieux de wagon et une armature en bois. Les roues de devant roulaient sur des rails ayant l'inclinaison de la première partie des tiges qui se terminait sur leur essieu, les roues de derrière sur deux rails à l'inclinaison de la seconde partie des tiges qui s'attachaient également sur leur essieu. La coupe de la fouille n° 1, faite le long des pompes, (Pl. XVI, *fig.* 4) donne une idée de cette disposition, et l'on trouve dans le pays des bois de qualité telle que les quatre rails sur lesquels le chariot eut un mouvement de va-et-vient, non interrompu de jour ni de nuit durant plus de deux mois et demi, n'étaient pas usés de plus de 1 centimètre.

L'eau pompée tenait toujours en suspension, au moins de jour, pendant le travail, du sable quartzeux, en général en proportion très inégale pour chaque pompe et les pistons de cuir s'usaient inégalement vite, de sorte qu'il fut toujours nécessaire de laisser à chaque pompe un balancier de contrepoids pour pouvoir obtenir une marche régulière.

On se sert couramment dans le pays, pour les pompes qu'on y emploie (pompes aspirantes avec répétition tous les 8 à 9 mètres) d'arbres de roues entièrement en bois avec manivelles en bois de grande épaisseur. Il fut possible de faire faire des tourillons en fer pour toutes les roues, tourillons qui furent tournés à l'atelier de

l'exploitation ; mais pour la roue des pompes le fabricant livra par erreur, et trop tard pour qu'on put les lui faire refaire, des tourillons dont la tête rectangulaire destinée à recevoir la manivelle n'avait que $0^m,07$ d'épaisseur suivant l'axe. L'emploi de manivelles en bois sur cette épaisseur était impossible. Les manivelles en fer que l'on put obtenir dans le pays étaient plus que médiocres, au point de vue surtout de leur ajustage sur l'arbre ; on put obtenir un aussi bon service avec des manivelles en bois et fer, faites en six pièces (deux en bois, quatre en fer), d'assez petite dimension pour être exécutées à la petite forge de l'exploitation et serrées avec des écrous.

Les bielles étaient, comme les tiges de pompes, en bois.

Pour les plans inclinés de la même fouille n° 1, on fit une roue à marche plus rapide, utilisant une chute de $4^m,10$ avec un diamètre de $3^m,25$, épaisseur de la roue $0^m,75$, de la couronne $0^m,25$ et 28 augets. Cette roue placée en H (Pl. XVI, *fig.* 2) devait actionner deux treuils pour deux plans inclinés à simple effet descendant dans la fouille. On avait adopté des treuils à simple effet, parce que ce matériel devait servir ultérieurement à d'autres concessions et que ce n'est que tout à fait exceptionnellement que l'on peut disposer dans ces exploitations d'une hauteur de chute permettant d'employer des roues en dessus. Avec des roues de côté tournant nécessairement toujours dans le même sens, et la nécessité de proscrire tout organe un peu compliqué ou délicat, l'emploi de treuils à simple effet semble le plus rationnel.

Pour pouvoir les livrer à temps pour leur expédition au Brésil, le fabricant avait dû construire ces treuils avec du matériel en magasin, et ils portaient sur l'arbre du frein un engrenage retardateur qui devait obliger à leur transmettre le mouvement de la roue en l'accélérant notablement. On y arriva de la façon suivante : on monta

sur l'arbre de la roue une poulie en bois de 2^m,50 commandant un arbre intermédiaire par une poulie de 0^m,60. Toutes ces poulies étaient faites sur place, en bois fraîchement coupé, et installées en plein air, au soleil, sans abris. Il y avait lieu de se préoccuper de les empêcher de jouer, et surtout de se gauchir, et dans ce but on plaça la poulie de 2^m,50 presque tout contre la roue pour pouvoir appuyer la jante sur les bras de la roue. Dans ces conditions il était impossible d'empêcher la poulie de se mouiller et on dut renoncer à l'emploi d'une courroie. Il fut impossible de la remplacer par des cordes qu'on ne put pas se procurer dans le pays ; on eut recours à deux câbles d'acier (on en avait en grande quantité pour le service des plans inclinés) de 0^m,013 de diamètre avec rouleaux tendeurs en bois. Malgré les mauvaises conditions de cette installation, faible vitesse (1^m,60), faible distance des deux poulies (environ 7 mètres d'axe en axe), malgré la difficulté de faire faire par les ouvriers dont on disposait des épissures convenables, on en obtint de bons services. Sur l'arbre de la poulie de 0^m,60 on avait monté deux grandes poulies de 2^m,50 qui commandaient chacune un treuil au moyen de courroies.

Les wagons avaient des roues et essieux en acier fondu, des caisses en bois de 1^m,00 sur 0^m,60 et 0^m,60 (soit 360 lit.) armées en fer avec porte antérieure battante autour d'une charnière horizontale à sa partie supérieure. Écartement des essieux 0^m,50. Voie de 0^m,55.

Les rails étaient en bois de 0^m,06 sur 0^m,10 placés sur traverses espacées de mètre en mètre. La voie était posée à la façon des voies de mine ordinaires, au moyen d'entailles dans les traverses et de coins serrant le rail. Aux extrémités les rails étaient placés bout à bout, à mi-bois sur environ 0^m,15 de longueur, et de façon qu'un joint tombât toujours sur une traverse. Même dans les parties où la voie était suspendue ces rails ne fléchissaient pas

sous le poids du wagon plein de sable mouillé. Cette voie, qui avait l'avantage de coûter extrêmement bon marché (environ 2f,50 le mètre en voie droite tout compris), n'a jamais eu le moindre dérangement. Les rails courbes se découpaient dans des madriers de 0m,10 d'épaisseur.

L'aiguillage se faisait au moyen d'une grande aiguille de 2m,50, en bois, armée de fer.

Avec une aiguille en haut qui permettait de garer le wagon plein à son arrivée et de descendre immédiatement un wagon vide, chaque plan incliné montait facilement 100 wagons par jour.

Un long canal en planches, marqué sur le plan, (*fig.* 2, Pl. XVI), calfaté à la façon du pays avec des écorces fibreuses abondantes dans la région, recevait l'eau sortant des roues et aussi l'eau épuisée par les pompes et l'emmenait hors des travaux.

La fouille n° 2, moins profonde que l'autre (elle rencontra le fond beaucoup plus haut), était tenue sèche par la fouille n° 1; à peine y eut-on besoin accidentellement d'une pompe à main. C'est à ce chantier qu'on installa à titre d'essai un plan incliné avec moteur électrique. On peut voir sur le plan la place des deux machines, génératrice en N, motrice en M (*fig.* 2, Pl. XVI).

La machine génératrice était mise en mouvement par une roue en dessus placée en P. Il fallait pouvoir arriver à une vitesse de 1.500 tours, et d'autre part on ne disposait pour toutes ces installations que d'un temps trop court et d'un nombre d'ouvriers insuffisant, d'où l'obligation, quitte à accepter des différences de diamètre excessives, d'employer le moins grand nombre possible de poulies intermédiaires.

Pour faciliter l'obtention de cette vitesse, on accepta pour la roue une vitesse possible de 15 tours par minute, quitte à réduire considérablement le rendement, ce qui n'avait qu'une importance secondaire puisqu'on avait de

l'eau à discrétion. On admit donc un rendement d'environ 50 p. 100 et on construisit pour utiliser une chute de $4^m,90$ une roue de $3^m,38$ de diamètre recevant 240 litres d'eau avec une épaisseur de la roue de $1^m,45$, de la couronne $0^m,25$ et 32 augets.

Sur l'arbre de la roue on plaça une poulie en bois de $3^m,00$ et pour les mêmes motifs que ci-dessus on crut devoir la mettre tout contre la roue et on dut renoncer à y employer une courroie. Cette poulie correspondait, sur un arbre intermédiaire, à une poulie de $0^m,40$, et on employa à la transmission une chaîne que l'on put se procurer sur place; les gorges des deux poulies étaient garnies de fourches en fer. Sur le même arbre intermédiaire on plaça une poulie de $2^m,60$ qui commandait directement la machine Gramme ($0^m,20$).

A l'autre extrémité du circuit la machine motrice commandait directement par une courroie le treuil qui avait été construit spécialement pour cet usage avec des engrenages retardateurs suffisants.

La distance entre ces deux machines était de 116 mètres. On devait pouvoir ainsi transmettre à peu près quatre chevaux; en fait on marcha toujours avec une force moindre.

Quand un wagon arrivait en haut du plan incliné, la vanne de la roue n'ayant pas de régulateur, on ne pouvait pas se contenter de débrayer le treuil; la roue se serait emballée et déjà en marche normale on avait une vitesse excessive pour la transmission par chaîne, la partie la plus défectueuse de cette installation et la seule qui ait causé par moments quelques embarras. A l'arrivée du wagon plein on arrêtait la machine motrice au moment où, les quatre roues étant franchement engagées sur la plate-forme horizontale, le travail résistant était fort peu de chose, et où la rupture du circuit ne risquait plns de nuire à la machine.

Il n'en restait pas moins à chercher un moyen de maintenir à une vitesse normale la roue qu'on ne voulait pas arrêter pour ne pas perdre de temps à chaque remise en marche. On essaya d'y parvenir en introduisant dans le circuit, au moment de la suppression de la machine motrice, une résistance équivalente. On n'avait pas les éléments nécessaires pour créer une résistance métallique, on fit simplement passer le courant dans de petits barils pleins d'eau légèrement salée. Le registre de la roue était en vue du plan incliné; une personne placée à ce registre pouvait, quand un wagon arrivait en haut, diminuer l'eau et la rendre quand un autre wagon était prêt à monter. Avec deux barils accouplés en tension on arriva avec un petit nombre de tâtonnements à obtenir, pendant la montée du wagon une vitesse de 1.100 tours environ à la machine génératrice et une vitesse de environ 800 tours pendant l'arrêt, l'intensité restant sensiblement constante (7,7 ampères dans le premier cas, 8 dans le second), la quantité d'eau reçue sur la roue étant de 120 litres dans le premier cas et 75 litres dans le second.

On serait certainement arrivé à supprimer complètement la manœuvre du registre et à obtenir un bon réglage soit par l'addition d'un troisième baril, soit par une diminution de la salure de l'eau. Mais la seule personne qui pût s'occuper de ce réglage avait à veiller en même temps sur tout le reste des travaux; les ouvriers s'étaient fait la main très rapidement à la manœuvre qui vient d'être indiquée ; d'autre part cette installation dont on n'avait pu s'occuper qu'après avoir terminé les autres ne fut prête que vers le 1er septembre, époque à laquelle on ne pouvait plus compter que sur un assez petit nombre de jours de travail; pour ces motifs on maintint les choses en l'état.

Dans ces conditions, avec une aiguille au bas du plan

incliné, aiguille qui permettait quand un wagon vide arrivait en bas, de détacher le câble et de l'attacher rapidement au wagon plein qui attendait, on montait couramment seize wagons à l'heure sur un plan incliné qui avait 33 mètres de long et rachetait une différence de niveau de $11^{m},55$.

Le registre de la roue était assez éloigné de celle-ci (en R sur le plan, Pl. XVI, *fig.* 2), on le relevait à un signal, mais jusqu'à ce que le supplément d'eau arrivât à la roue, il s'écoulait un certain temps pendant lequel la marche était plus lente. La montée durait 110 secondes, dont 20 en marche lente et 90 en marche plus rapide. Pendant tout ce temps, quelle que fût la vitesse, l'intensité se maintenait parfaitement constante à $7^{amp},7$. Il est à noter que, toutes choses égales d'ailleurs, un serrage trop fort ou trop faible des balais diminuait sensiblement la vitesse.

Au moment de la manœuvre du commutateur, et pendant un temps très court, à peine suffisant pour permettre la lecture, l'intensité faisait un saut brusque, aux environs de 12 ampères.

Le seul instrument de mesure dont on disposât était un ampère-mètre, nécessaire pour connaître toujours l'intensité et ne pas s'exposer à brûler les machines. On ne put donc jamais mesurer le rendement propre aux diverses parties de cette installation. On ne put qu'évaluer le rendement en bloc par la comparaison du travail théorique de la chute d'eau PH, et du travail d'élévation verticale du wagon : encore ici fallait-il évaluer le poids du wagon qu'on ne pouvait peser. Il n'y a, je crois, aucune exagération à porter à 1.000 kilogrammes le poids d'un wagon qui recevait normalement son plein 360 litres de sable fin sec ou surtout 300 litres environ de sable humide. Pour n'avoir pas à tenir compte des deux périodes signalées plus haut dans la montée, le plus simple est de prendre d'une part le travail total correspon-

dant à l'élévation du wagon, soit 11.500 kilogrammètres (en négligeant le poids du câble, $0^k,580$ par mètre), et d'autre part, le travail correspondant à la totalité de l'eau venue par la roue pendant la montée (1.500 + 10.800 = 12.300 litres), soit 60.270 kilogrammètres. Le rendement serait donc de 19 p. 100.

En admettant que le poids du wagon plein ne soit que de 900 kilogrammes, le rendement serait encore de 17 p. 100.

Il est à noter que la roue marchait à une vitesse telle qu'elle devait avoir un rendement tout à fait défectueux (on avait admis pour la construire 50 p. 100 environ); que, le rendement électrique pouvant être d'environ 50 p. 100, cela ne ferait plus que 25 p. 100, et que, dans le reste de l'installation, la première transmission par une chaîne très lourde, prenant à cause de sa vitesse un balancement très sensible, devait absorber beaucoup de travail. Dans ces conditions, ce rendement semble assez satisfaisant.

Ces machines ne furent en service que trois semaines à peine, durant lesquelles les seules difficultés qu'on rencontra vinrent de la chaîne de transmission. La machine génératrice, qui travaillait continuellement, s'échauffait parfois d'une façon très sensible, pas au point cependant qu'il devînt pénible d'y appuyer la main ; je crois que cet inconvénient aurait été considérablement atténué par l'emploi de machines construites uniquement pour la transmission de la force, et marchant avec une force électromotrice plus grande et une intensité moindre.

Vers la mi-septembre, quelques orages éclatèrent, qui n'apportèrent aucun trouble dans les travaux, mais dès ce moment-là il était clair que l'on n'obtiendrait aucun résultat; on avait à la fouille n° 1 atteint le fond, comme on s'y attendait, à un peu plus de 15 mètres, on y avait retrouvé les bois placés il y a quatre-vingts ans envi-

ron, et fort bien conservés; à la fouille nº 2, on avait déjà constaté l'absence de cascalho. Il était bien inutile, dans ces conditions, de chercher à se procurer, par des précautions coûteuses, quelques jours de travail supplémentaires durant les premières pluies, et le 26 septembre, à la suite d'un très violent orage qui devait amener une grosse crue, on enleva les pompes et on abandonna les travaux.

Il n'y a pas lieu de dissimuler tout ce qu'il y avait de défectueux dans les installations mécaniques que je viens de décrire sommairement; les solutions adoptées s'étaient imposées par suite du manque de temps qui avait obligé à réduire le plus possible le nombre d'organes à construire. Si les travaux avaient dû être continués, on aurait profité du temps disponible pendant la saison des pluies, et dès l'année suivante tout l'outillage aurait été installé dans de meilleures conditions; par exemple, pour la machine Gramme génératrice, on aurait pu exécuter le projet primitif qui consistait à ne faire faire à la roue que 10 tours et à employer deux arbres intermédiaires, de façon à accélérer le mouvement successivement dans les rapports de 6/1, 5/1, 5/1, la première transmission sur la roue étant obtenue par une roue et un pignon. Cette première tentative a du moins prouvé que la substitution de procédés nouveaux, à ceux anciennement en usage, ne rencontrerait aucun obstacle insurmontable; il y a même lieu d'être surpris de la facilité avec laquelle la population ouvrière du pays se prêtait à l'emploi de ces procédés nouveaux, car c'est là, je crois, un cas assez rare. En fait, on n'employa aux travaux que des ouvriers du pays, sauf un charpentier et un fogeron que l'on avait fait venir de Rio-de-Janeiro, et l'on put constater chez ces hommes, non seulement une très réelle docilité à modifier leurs habitudes de travail, mais même, chez beaucoup d'entre eux, une bonne volonté évidente. Seules les

quelques personnes qui se sont fait une spécialité de la direction des travaux d'exploitation par les procédés locaux, ne dissimulaient pas une curiosité évidemment malveillante.

La transmission électrique fonctionna trop peu de temps pour qu'il soit permis de déduire des résultats obtenus des conclusions trop formelles. Mais les machines de Gramme sont extrêmement robustes et faciles à entretenir (j'ai eu déjà par ailleurs occasion de le constater), fort peu sujettes à se détériorer dès qu'on prend soin de ne les pas brûler; d'autre part, elles ne sont nullement encombrantes, plus faciles à installer que des câbles télodynamiques qui, du reste, dans les véritables boyaux où se font parfois ces exploitations, auraient de graves inconvénients; eu égard à leur capacité de transmission, elles n'exigent que le transport d'un poids relativement faible; pour ces divers motifs, et après l'essai que je viens de relater, je n'hésiterais pas, pour ma part, à les employer couramment dans les exploitations de cette région, dès qu'il y aurait lieu de recourir à une transmission de force.

La mise en train des diverses machines employées eut trop à souffrir du manque de temps pour qu'il soit possible d'estimer exactement l'économie que l'on pourrait réaliser par leur emploi normal sur les frais qu'entraîne la pratique des procédés du pays. On ne put que l'évaluer à peu près. Dans le pays, l'extraction des sables se fait à bras : les ouvriers portent ce sable sur la tête dans de grandes sébilles en bois nommées *carumbés*, qui reçoivent de 10 à 15 kilos de terre. Au Portão de Ferro, on jetait les déblais sur la rive droite, entre la rivière et le canal, et en comptant très largement l'amortissement du matériel d'extraction, l'économie réalisée par l'emploi de ce matériel peut être évaluée à au moins 50 p. 100 pour chaque carumbé.

En fait, les frais de l'exploitation, non comptés l'achat et le transport du matériel ni les appointements du directeur, mais en y comprenant toutes les autres dépenses, construction des maisons, mise en état des chemins, paiement de tout le personnel, sauf le directeur, frais de voyage depuis Rio-de-Janeiro du personnel amené de là, etc., etc., s'élevèrent à environ 130.000 francs. Le matériel, transport compris, ayant coûté environ 55.000 fr., si largement qu'on en veuille compter l'amortissement, on arrivera, tous frais compris, à un total qui sera encore bien loin d'atteindre ce qu'auraient coûté ces travaux, faits par les procédés du pays, d'après les évaluations les plus modérées.

D'autre part, dans ces sortes de travaux, l'intérêt capital est évidemment d'aller vite, et, à ce point de vue surtout, la comparaison est impossible à soutenir.

L'économie réalisée est considérable, quoique les prix de la main-d'œuvre soient encore très bas dans la région de Diamantina. Les ouvriers spéciaux, charpentiers, forgerons, les plus habiles se paient de 5 à 6 fr. par jour, ce qui est cher pour ce qu'ils savent faire; mais les ouvriers employés aux travaux courants de l'exploitation gagnent de 9 à 12 fr. par semaine pendant la saison sèche, c'est-à-dire au moment où les prix sont le plus élevés. Il est vrai qu'il faut les nourrir, mais la nourriture peut être évaluée à environ 0f,75 par tête et par jour pour les ouvriers ordinaires, et 1 fr. pour les ouvriers spéciaux, surveillants, etc.

J'ai indiqué par ailleurs ce que coûtait le fer : le droit de couper les bois qui pouvaient être nécessaires fut payé aux propriétaires de terrain 500 francs. Leur transport sur une distance moyenne d'environ 8 kilomètres se payait à raison de 12f,50 par charretée, un char faisant en moyenne, avec six bœufs, un voyage et demi par jour et portant de 500 à 600 kilogrammes.

Des madriers en bois dur, dont les dimensions moyennes étaient de 0^{m},25, 0^{m},08, 3^{m},20, étaient fournis, à la forêt, par un homme qui, prenant les arbres sur pied, livrait les madriers sciés à raison de 50 francs la douzaine, le transport restant à la charge de l'exploitation. Enfin les planches en bois ordinaire, de dimensions moyenne de 0^{m},22, 0^{m},025, 3^{m},20, étaient apportées de Congonhas (environ 90 kilomètres), où on en produit en grande quantité, à raison de 35 francs la douzaine, mises au Portão de Ferro.

En résumé, ce premier essai, poursuivi à travers de sérieuses difficultés, provenant et de la nouveauté pour les ouvriers des procédés qu'ils eurent à mettre en œuvre, et du temps trop court durant lequel il fallut exécuter un travail considérable, permet, je crois, de conclure à la possibilité d'introduire pratiquement dans le pays des méthodes dont la supériorité sur celles qui y étaient employées n'est pas à démontrer.

EXPLICATION DES FIGURES 1 A 7

DE LA PLANCHE XVI.

Fig. 1. — Carte des environs de Diamantina, d'après M. Catão Gomes Jardim, ingénieur des travaux publics du district de Diamantina.

Fig. 2. — Plan des travaux.

a barrage provisoire.
b canal en planches (provisoire).
c barrage définitif.
H roue motrice pour deux plans inclinés.
ee' treuils.
ff' plans inclinés.
g registre de prise d'eau pour la roue H.
G roue motrice des pompes.
h registre de prise d'eau de cette roue.
kk' pompes.
M machine Gramme motrice.
n treuil.
p plan incliné.
q, *q*, *q* canal en planches pour l'évacuation de l'eau des roues et de l'eau des pompes. La dernière partie a été faite en profitant d'affleurements de rochers au milieu du lit.
P roue motrice.
R registre de prise d'eau.
N machine Gramme génératrice.
u dispositif permettant, au moyen d'aiguilles en bois, de maintenir sensiblement constant le niveau de l'eau dans le canal.
v petit barrage destiné à empêcher le reflux de l'eau dans les travaux.
x ruisseau sans eau dans la saison sèche.

Fig. 3. — Projection verticale de la face N.-E. du canal et plafond du canal contre cette face. Les lettres correspondent à celles de la figure n° 2.

Fig. 4. — Coupe verticale à travers la fouille n° 1 contre les pompes, suivant XX du plan. On n'a indiqué qu'une seule pompe, l'autre était installée de la même façon.

A canal.
B mur n° 3 du plan.
C canal d'amenée de l'eau sur la roue.
D roue.
E canal d'évacuation de l'eau.
F balancier guide de l'extrémité de la bielle.
G balancier de contrepoids.
H tige.
K petit chariot servant à dévier la tige.
M corps de pompe.
N tuyaux d'aspiration.
P tuyaux élévatoires.
R rigole en planches amenant l'eau jusqu'au canal E.

Fig. 5. — Coupe du terrain perpendiculairement à la direction du Ribeirão.

Fig. 6. — Coupe montrant le mode de construction des murs.

Fig. 7. — Coupe verticale à travers le barrage, suivant XX du plan.

EXPÉRIENCES RELATIVES

A LA

VITESSE DES COURANTS D'EAU OU D'AIR

SUSCEPTIBLES

DE MAINTENIR EN SUSPENSION DES GRAINS MINÉRAUX

Par M. J. THOULET,
Professeur à la Faculté des sciences de Nancy.

J'ai décrit, dans le *Bulletin de la Société minéralogique de France* (t. II, 1879, p. 22), un appareil destiné à opérer le triage des divers éléments contenus dans une roche et se composant d'un tube large en verre, muni dans le haut d'un tube soudé latéralement et dans le bas d'un robinet. Ce gros tube contient dans son intérieur un tube plus petit fixé par un bouchon en caoutchouc et s'élevant à une certaine hauteur. On réduit la roche en grains de grosseur uniforme que l'on dépose au fond du gros tube et l'on fait arriver par l'ajutage latéral un courant d'eau dont la vitesse, facile à régler, entraîne les grains selon leur densité respective et permet ainsi d'isoler les uns des autres ceux dont la densité et par conséquent la nature minéralogique est différente. Comme il m'a semblé que le procédé pourrait jeter quelque lumière sur les phénomènes d'entraînement des

sables par les courants d'eau naturels, j'ai pensé à étudier ce sujet avec plus de détail et, dans ce but, j'ai exécuté une série d'expériences qui, après m'avoir conduit à transformer l'appareil, fourniront peut-être en même temps certaines données sur le mouvement du sable dans les rivières ou dans les mers. M. Daubrée, dans ses *Études synthétiques de géologie expérimentale*, s'est déjà occupé de cette question si importante. On sait que sous l'action des eaux en mouvement, les roches se désagrègent, ainsi qu'on le constate le long des côtes de la mer ou sur les bords des cours d'eau, et que le résultat de cette désagrégation mécanique est un sable. Lorsque ce sable est à son tour soumis à l'action des flots, ses grains, poussés les uns contre les autres, se heurtent réciproquement, émoussent leurs arêtes vives, s'usent et s'arrondissent sauf dans le cas où ils sont assez petits pour flotter au sein du liquide qui les entraîne et où, demeurant suspendus, ils obéissent sans y résister à tous les mouvements qui leur sont imprimés, cessent de se choquer mutuellement et, par conséquent, de diminuer de volume et parfois conservent la finesse de leurs arêtes. Cette limite d'usure dépend de la densité du grain, de sa dimension et du mouvement du liquide. Deux quelconques de ces variables étant connues, il ne paraît pas qu'il y ait une impossibilité à ce qu'on déduise la troisième, pourvu que l'on connaisse la relation existant entre elles. La solution de ce problème serait d'une haute importance, car la seule inspection d'un sable géologique ou d'un grès, dès qu'on aura constaté, ce qui est aisé au microscope, la présence de grains anguleux, mesuré leur dimension ou celle des plus petits grains arrondis, déterminé la nature minéralogique de ceux-ci et par conséquent leur densité, permettrait d'indiquer une limite pour la force des courants qui ont présidé à leur dépôt et par suite ferait connaître dans une certaine mesure si la mer géologique,

au milieu de laquelle ils se sont formés, était plus ou moins vaste, plus ou moins profonde et agitée, si le dépôt s'est accompli dans un golfe abrité ou sur une plage exposée à toute la fureur des tempêtes.

Elie de Beaumont, dans ses *Leçons de géologie pratique* (t. II, p. 138), cite des expériences faites par Dubuat, sur la grosseur des particules terreuses et pierreuses qu'un cours d'eau peut entraîner lorsqu'il est animé d'une vitesse déterminée. Dubuat se servait d'un canal en bois qu'il inclinait de manière à donner à l'eau une certaine vitesse. Sur le fond, il mettait différentes substances et il inclinait le canal jusqu'à ce que ces substances fussent entraînées ; il a trouvé ainsi que

L'argile propre à bâtir est entraînée par un courant d'eau qui a une vitesse de. . . .	0^m,08	par seconde.
Le sable fin.	0 ,16	—
Le gravier gros comme des pois.	0 ,19	—
Le gravier gros comme des fèves.	0 ,32	—
Les galets de 1 pouce de diamètre.	0 ,65	—
Les galets gros comme des œufs de poule.	1 ,00	—

A notre tour, nous avons essayé de déterminer la force nécessaire à un courant d'eau pour maintenir en suspension des particules solides de densités et de dimensions variées. Pour cela, un tube en verre bien calibré, de rayon exactement mesuré est dressé verticalement et mis en communication par un tube en caoutchouc avec un robinet dont l'ouverture est facile à augmenter ou à diminuer lentement et qui permet ainsi l'entrée d'un courant d'eau ascendant dont on règle à volonté l'intensité. On introduit successivement dans le tube des sphères, aussi parfaites que possible, de rayon et de poids connus, c'est-à-dire de densité connue, on fait passer un courant d'eau suffisant pour maintenir la sphère absolument immobile en un point fixe du tube, enfin l'on recueille et l'on pèse l'eau écoulée pendant un temps déterminé.

Dans toutes ces expériences, l'eau avait une pression d'une demi-atmosphère et a toujours indiqué une température de 6 degrés centigrades.

Les sphères dont je me suis servi ont été des grains de plomb de chasse de divers calibres ou bien des boulettes roulées sous les doigts et faites en cire à modeler contenant dans leur intérieur un grain de métal, plomb, cuivre ou étain, de manière à ce qu'on pût à volonté modifier leur densité tout en restant maître de leur donner un diamètre plus ou moins considérable. La sphéricité de ces boulettes a été vérifiée sous le microscope, tandis que le chariot dont est muni l'instrument de M. Bertrand, laissait mesurer leur diamètre avec une erreur inférieure à un demi-dixième de millimètre. Le poids était évalué au milligramme et parfois même au dixième de milligramme ; les temps étaient notés à l'aide d'un compteur à pointage et dans les expériences, ils n'ont jamais été inférieurs à 30 secondes; les poids d'eau étaient ensuite, par un calcul simple, réduits à la seconde.

Toutes les mesures sont en millimètres, les poids en milligrammes, les volumes en millimètres cubes, les temps en secondes.

Nous avons ainsi étudié successivement et représenté par des courbes :

1° L'influence de la hauteur dans le tube ;

2° L'influence de la densité et du volume du corps immergé ;

3° L'influence du rayon du tube ;

4° L'influence de l'inclinaison du tube.

I. *Influence de la hauteur dans le tube.* — Afin de se rendre compte de l'influence exercée par la hauteur à laquelle on maintient dans le tube et par la force du courant le corps immergé, on a préparé trois sphères :

NUMÉROS d'ordre.	COMPOSITION.	RAYON.	POIDS.	VOLUME.	DENSITÉ.
1	Cire.	2,485	81,0	63,264	1,28
2	Cire-plomb.	2,570	186,0	71,087	2,62
3	Cire-plomb.	2,600	345,5	73,625	4,69

Un tube en verre, de rayon égal à 6,75, a été dressé verticalement et partagé par des repères aux niveaux suivants mesurés à partir de l'extrémité inférieure de ce tube et à partir du point de courbure du tube en caoutchouc placé à la partie supérieure et par lequel s'écoule l'eau devant être pesée.

NIVEAUX.	HAUTEUR à partir de l'extrémité inférieure.	HAUTEUR à partir de l'extrémité supérieure.
A	»	»
B	240	980
C	470	750
D	830	390
E	1120	100

Le maintien des sphères au niveau A s'est montré presque impossible par suite des remous violents se produisant à l'entrée du tube. Les poids d'eau nécessaires pour maintenir ces sphères immobiles à chacun des niveaux B, C, D, E, ont été en milligrammes, par seconde et pour chaque millimètre carré de section du tube,

SPHÈRES.	NIVEAU B	NIVEAU C	NIVEAU D	NIVEAU E
1	92,59	89,75	82,02	78,65
2	266,68	262,10	262,34	256 70
3	458,94	454,23	440,76	428,41

Les essais que nous décrivons plus loin ont tous été faits au niveau D.

L'examen des courbes (Pl. XVI, *fig.* 8) tracées en comptant sur l'axe des x les hauteurs du tube au-dessus de l'extrémité inférieure et sur l'axe des y, les volumes d'eau en milligrammes par seconde et par millimètre carré de section du tube, montre que la force nécessaire pour tenir en suspension un corps immergé est directement proportionnelle à la hauteur à laquelle ce corps doit être soutenu. Ces courbes semblent en effet être des lignes droites. Ce fait pouvait se prévoir puisque, pour avoir la même vitesse utile, le courant doit posséder d'autant plus de force qu'il a à soulever, en outre de la sphère pesante une colonne verticale de liquide plus longue et par conséquent plus pesante. Cette proportionnalité est très faible et à peu près indépendante de la densité du corps.

Influence du rayon des grains et de leur densité.

NUMÉROS d'ordre.	MATIÈRE.	RAYON.	POIDS.	VOLUME.	DENSITÉ.	NOMBRE d'expériences.	POIDS D'EAU trouvés.	POIDS D'EAU adoptés.	DIFFÉRENCES.	OBSERVATIONS.
I	Plomb. . . .	1,20	79,7	7,2369	11,01	10	610,52	548,23	—26	
II	Plomb-cire.	1,20	33,7	7,2369	4,65	10	336,09	338,03	+ 2	
III	Sable-cire .	1,20	11,7	7,2369	1,62	5	126,02	111,42	—15	
IV	Cire.	1,20	9,4	7,2369	1,30	5	62,81	65,72	+ 3	
V	Plomb. . . .	1,875	313,0	27,6139	11,33	5	672,14	686,03	+14	
VI	Plomb. . . .	1,520	157,4	14,7069	10,70	10	633,72	631,91	—21	
VII	Plomb. . . .	0,875	32,7	2,8066	12,01	5	556,40	527,62	—29	
VIII	Cire.	1,712	24,9	21,0200	1,18	5	60,91	57,60	— 3	
IX	Cire-plomb.	1,762	51,5	22,9151	2,25	5	216,14	194,26	—22	
X	Cire-plomb.	1,887	113,2	28,1501	4,03	5	345,21	348,52	+ 3	
XI	Cire-plomb.	1,725	102,2	21,5063	4,75	5	402,10	390,52	—12	
XII	Cire-étain. .	1,575	26,3	16,3664	1,61	5	140,23	121,30	—19	
XIII	Cire-étain. .	2,000	60,4	33,5120	1,80	5	159,31	148,60	—11	
XIV	Cire-étain. .	1,425	25,5	12,1230	2,10	5	176,77	173,71	— 3	
XV	Cire-plomb.	2,050	125,7	35,2253	3,57	5	318,12	322,97	+ 4	
XVI	Cire-plomb.	1,175	31,2	6,7987	4,59	10	347,35	332,27	—15	
XVII	Cire-plomb.	1,600	123,1	17,1581	7,17	10	497,67	502,49	+ 6	
XVIII	Cire-plomb.	1,600	61,7	17,1581	3,59	10	313,04	313,04	0	
XIX	Cire-plomb.	0,980	16,0	3,9428	4,06	10	316,21	289,19	—27	
XX	Cire-cuivre.	1,475	50,0	13,4466	3,72	10	322,26	309,92	—13	
XXI	Cire-plomb.	1,687	129,5	20,1820	6,42	5	492,13	482,09	—10	
XXII	Cire-plomb.	2,087	302,5	38,0728	7,94	5	572,77	580,77	+ 8	
XXIII	Cire-plomb.	1,462	107,4	12,9864	8,25	5	525,50	529,52	+ 4	

Les essais

un tube de rayon égal à 4.775 et au niveau D; ils ont donné lieu au tableau précédent, où les chiffres des poids d'eau représentent aussi la vitesse du courant d'eau en millimètres par seconde.

Ce tableau a servi à construire les courbes de la figure 9 pour laquelle je me suis en outre aidé des courbes tracées sur les figures 10 et 11. Une colonne indique les différences existant entre les résultats expérimentaux directs et les résultats modifiés graphiquement. Ces différences sont tantôt positives et tantôt négatives, elles n'atteignent jamais une valeur considérable et me semblent être peu importantes, surtout si l'on remarque l'extrême petitesse des corps immergés et l'influence que possède sur la détermination de leur densité une erreur très faible commise dans la mesure directe du rayon des sphères, d'ailleurs quelque peu imparfaites, constituées par les boulettes et dans l'évaluation des poids. Sur l'axe des x sont indiqués les rayons des sphères à l'échelle de 1 millimètre pour 1/10 de millimètre, les ordonnées montrent le poids d'eau en milligrammes par seconde et par millimètre carré de section du tube à une échelle de 2 millimètres par 50 milligrammes, enfin les densités sont inscrites en chaque point.

Certains minéraux tels que le mica qui offrent l'aspect de lames minces et étendues, devront être considérés comme composés d'une rangée de sphères de diamètre égal à l'épaisseur de la lame et accolées les unes à côté des autres. Il en résulte qu'après passage à travers un tamis ou un crible, ils se comporteront par rapport aux grains ayant traversé le même tamis, mais de forme plus sphérique comme des corps d'un diamètre beaucoup plus petit et égal à l'épaisseur de leurs lamelles. C'est en effet ce que démontre l'expérience.

Influence du rayon du tube. — Les sphères portant les numéros XXIII, XVII, XI, XVIII et XIII ayant servi aux mesures inscrites dans le tableau précédent ont été maintenues en équilibre au même niveau D dans quatre tubes dont les rayons étaiemt respectivement égaux à 2,2, 4,775, 6,75 et 8,0 millimètres. On a pesé l'eau écoulée pendant 30 secondes et un calcul très simple a permis d'obtenir en milligrammes les poids d'eau nécessaires pour soutenir chaque boule, par seconde et par millimètre carré d'orifice du tube. Les résultats ont permis de tracer les cinq courbes de la figure 10 en prenant pour abscisses les rayons du tube et pour ordonnées les poids d'eau ; ces courbes ont leur convexité tournée vers l'axe des x et s'élèvent rapidement à mesure qu'on s'éloigne davantage de l'origine, le long de cet axe; elles paraissent être parallèles entre elles. Ce résultat semble bizarre, car il pourrait en apparence s'énoncer en disant que plus le tube est large et plus il faut un courant rapide pour maintenir en suspension un corps de densité et de volume déterminé, de sorte que dans un tube de largeur infinie, il faudrait un courant vertical de vitesse infinie.

NUMÉROS d'ordre.	RAYON.	DENSITÉ.	Tube R = 2.2			Tube R = 4,775			Tube R = 6,75			Tube R = 8,0			OBSERVATIONS.
			Poids trouvé.	Poids adopté.	Différ.	Poids trouvé.	Poids adopté.	Différ.	Poids trouvé.	Poids adopté.	Différ.	Poids trouvé.	Poids adopté.	Différ.	
XXIII	1,462	8,27	492,10	305	+13	525,50	529,52	+ 4	554,52	557	+2	»	»	»	
XVII	1,600	7,04	466,93	475	+ 9	497,67	502,49	+ 6	526,16	525	−1	»	»	»	
XI	1,725	4,75	359,82	365	+ 5	402,10	390,52	−12	417,95	420	+2	450		0	
XVIII	1,600	3,59	278,00	285	+ 7	313,04	313,04	0	331,42	340	+9	»	»	»	
XIII	2,000	1,80	123,07	117	− 6	159,31	148,60	−11	171,72	173	+1	207,04	195	−12	

Cependant cette inflexion des courbes s'explique. En effet, lorsqu'on exécute l'expérience on remarque que le

corps immergé maintenu immobile par le courant reste accolé à la paroi du tube, et si momentanément il est entraîné hors de cette position vers l'axe du tube, il accomplit très rapidement un certain parcours dans cette direction, mais il ne tarde pas à être rejeté contre la paroi où il reprend alors son immobilité. Le courant est donc plus fort dans l'axe du tube que le long des parois où il est ralenti par le frottement. Le courant utile pour maintenir le corps en suspension est par conséquent le courant de paroi et non pas le courant axial. Or dans des tubes cylindriques, les volumes croissant comme les carrés des rayons tandis que les surfaces ne croissent que comme les rayons, il est surtout naturel que la courbe qui représente des poids d'eau, c'est-à-dire des volumes, croisse d'une façon très rapide. En définitive, la courbe s'appliquant à une même sphère maintenue dans des tubes de rayon différent, la nature particulière de la sphère devient une constante et la courbe représente le rapport entre les volumes d'eau nécessaires par seconde et millimètre carré d'orifice pour maintenir un courant de même vitesse contre les parois de tubes de divers rayons.

La mesure expérimentale rigoureuse du courant suffisant pour conserver un corps en suspension me paraît difficile, car il faudrait se servir d'un tube ayant exactement le diamètre de la sphère et alors l'eau n'aurait plus d'issue, ou bien encore prendre un tube sans paroi, c'est-à-dire très large et même dans ce cas on n'aurait point encore de résultat satisfaisant car le liquide se composerait alors de gaines cylindriques emboîtées les unes dans les autres dont le mouvement respectif décroîtrait à partir de l'axe, de sorte que le corps immergé se rapprocherait indéfiniment de la périphérie si éloignée qu'elle fût, et là seulement, dans le courant de vitesse minimum, il pourrait trouver la condition d'immobilité. Une boule

pesante suspendue à un fil fin dont l'une des extrémités aurait été fixe que l'on aurait abandonnée au courant d'une rivière ou d'un ruisseau et pour laquelle on aurait mesuré l'angle formé par le fil tendu et la verticale n'aurait pas fourni d'approximation expérimentale plus grande par suite de la difficulté pratique qu'il y aurait eu à évaluer avec la précision requise la vitesse du courant et l'angle du fil. Si les courbes sont prouvées théoriquement être des paraboles, des hyperboles ou être définies mathématiquement, il me semble que l'ordonnée correspondant soit au rayon de la boule à maintenir en suspension et servant par conséquent de caractéristique à la force du courant, soit plutôt l'ordonnée correspondant à l'abscisse nulle ou le poids d'eau nécessaire par millimètre carré de section du tube pour soutenir le corps dans un tube de rayon nul, c'est-à-dire où il n'existe que des courants de paroi, doit indiquer par sa longueur le débit par millimètre carré de section du courant de paroi type, c'est-à-dire du courant minimum susceptible de maintenir en suspension le corps. Je considérerai cette quantité comme exacte, car les courbes font voir que pratiquement elle ne peut être très éloignée de la vérité, et je laisserai aux mathématiques la recherche d'une formule rigoureuse. Le parallélisme des courbes paraît montrer que le rayon du corps, dans les limites où nous nous plaçons, joue un rôle peu important et, comme il fallait d'ailleurs s'y attendre, que la densité du corps possède l'influence prépondérante.

Influence de l'inclinaison du tube. — Chacune des sphères XXIII, XVII, XI, XVIII, XIII a été maintenue immobile en un même point du tube de rayon égal à 4.775 et on a pesé le poids d'eau nécessaire pour obtenir ce résultat en faisant varier l'inclinaison de ce tube depuis 90 degrés jusqu'à 15. Comme il est évident que

pour une inclinaison nulle il suffirait d'un courant nul pour conserver la sphère immobile quelle que soit sa densité, il en résulte que toutes les courbes doivent passer par l'origine.

Le tableau des expériences est le suivant; il est représenté graphiquement sur la *fig.* 11 :

INCLINAISON.	XXIII			XVII			XI			XVIII			XIII		
	Poids trouvé.	Poids adopté.	Différ.	Poids trouvé.	Poids adopté.	Différ.	Poids trouvé.	Poids adopté.	Différ.	Poids trouvé.	Poids adopté.	Différ.	Poids trouvé.	Poids adopté.	Différ.
90	525,50	529,52	+4	497,67	502,49	+ 6	402,10	390,52	—12	313,04	313,04	0	159,31	148,60	—11
75	509,77	515,00	+5	486,63	492,00	+ 5	380,69	382,00	+ 1	304,02	308,00	+4	145,26	143,00	— 2
60	487,52	487,52	0	464,26	464,26	0	365,25	365,25	0	293,13	293,13	0	145,35	145,35	0
45	435,04	435,04	0	414,10	414,10	0	327,37	327,37	0	»	»	»	123,86	128,00	+ 4
30	350,92	350,92	0	336,17	336,17	0	270,89	270,89	0	212,82	212,82	0	100,19	104,00	+ 4
15	227,52	232,00	+4	227,15	215,00	—12	175,75	175,75	0	»	»	»	67,56	67,56	0

Si l'on appelle p le poids adopté pour le débit par seconde du courant d'eau susceptible de maintenir immobile dans un tube vertical chaque sphère et α l'inclinaison sur l'horizon du tube qui les contient, on constate que les valeurs expérimentales et celles de $p \sin \alpha$ sont très rapprochées lorsque α est considérable, mais qu'elles diffèrent de plus en plus à mesure que α diminue. Le triage des gangues et des minerais vient fournir une application pratique immédiate des résultats obtenus par les expériences qui précèdent. L'inspection de la courbe (*fig.* 9) montre que ce triage doit s'effectuer avec une parfaite netteté et au moyen d'une quantité d'eau relativement très faible. Les principales gangues pierreuses ont en effet une densité inférieure à 4 tandis que les minerais ont une densité très supérieure. J'ai répété ces expériences et je me suis convaincu en séparant les uns des autres des sables pierreux et métallifères de même dimension que l'on possédait dans un courant d'eau un

crible non de grosseurs comme les cribles ordinaires, mais de densités dont la délicatesse est très grande, le maniement commode et l'action continue. Il suffit en effet de projeter à l'extrémité supérieure d'un tube parcouru de bas en haut par un courant d'eau un mélange de gangue et de minerai en grain à peu près égaux et de régler le courant de manière à ce que tous les grains métallifères descendent et se rendent dans un récipient situé à la partie inférieure tandis que les grains légers entraînés vont se déposer dans d'autres récipients d'où l'eau s'écoule ensuite. Afin d'économiser l'eau et de régulariser l'opération, il conviendrait d'employer un tube non pas cylindrique mais à section rectangulaire et aussi aplati que possible, afin d'avoir un développement maximum de courant de paroi et de réduire au contraire le courant axial qui, en outre de ce qu'il exige une grande quantité d'eau, tend aussi à troubler l'opération, surtout dans le cas de grains ayant à peu près la même densité, en relevant certains grains qui auraient dû tomber au fond. On se servira aussi avec avantage et pour hâter l'opération, non pas d'un seul tube trieur mais d'un système de plusieurs de ces tubes égaux entre eux, accolés les uns aux autres et dont les sections donnent lieu à un courant de même force et ayant la vitesse convenant aux grains à séparer.

L'appareil qui me sert dans mon laboratoire pour le triage des divers éléments contenus dans une roche se compose (*fig.* 13) d'un tube en verre A muni latéralement d'un ajutage B et intérieurement d'un robinet C communiquant avec un tube plus étroit D dont le bout est taillé en biseau. A travers le bouchon en caoutchouc E, passe un tube de verre assez large F. En H est un tube de verre convenablement étroit servant de crible et fixé en haut et en bas par des raccords en caoutchouc. Le tube K en verre est doucement évasé à sa portion infé-

rieure et communique avec H; il reçoit un tube coudé N prolongé par un tube en caoutchouc qui fait fonction de siphon, que l'on peut enfoncer plus ou moins et dont le diamètre intérieur est supérieur à celui du tube H. Le tube M, assez large, traversant le bouchon supérieur sert à introduire la poudre minérale hétérogène et le verre P avec son trop-plein R, à recevoir les grains après leur isolement.

L'appareil agit d'une façon continue. On fait communiquer B au moyen d'un tube en caoutchouc avec le robinet donnant accès à l'eau. Ce robinet permet de modifier à volonté la vitesse du courant d'eau. L'eau arrive en A, monte le long de F, traverse H, remplit K et, le siphon étant amorcé, s'écoule par N. Si alors on introduit en M la poussière minérale, la vitesse du courant d'eau étant convenablement réglée, les grains légers ne pourront franchir H et seront entraînés à travers N tandis que les grains lourds descendront le long de F, traverseront le robinet C suffisamment ouvert et se réuniront en P, l'excès d'eau s'écoulant par le trop-plein R. Il est possible de connaître à l'avance la vitesse à donner à l'eau pour livrer passage à l'exclusion de tous les autres, à des grains de densité connue, mais il est plus simple d'agir empiriquement en examinant à la loupe la nature des grains qui descendent en H et en ouvrant plus ou moins le robinet d'introduction de l'eau.

Comme application numérique, supposons qu'il s'agisse d'isoler les uns des autres des grains de grosseur uniforme, de rayon égal à 2 millimètres, de quartz ($d = 2{,}6$) et de blende ($d = 4$), et proposons-nous de rechercher la quantité d'eau nécessaire pour opérer ce triage. Nous admettrons que le tube trieur possède une section transversale rectangulaire d'une largeur de 12 millimètres.

La courbe (*fig.* 9) donne pour valeur minimum de l'eau

nécessaire pour soutenir un grain de quartz de 2 millimètres de rayon et de densité égale à 2,6, le tube étant vertical, 235 milligrammes par millimètre carré d'orifice du tube (ordonnée du point situé sur l'abscisse 2 et au 1/5 de la distance séparant le long de cette abscisse, la courbe $d = 2,5$ de la courbe $d = 3$). La blende, dans les mêmes conditions, en exigerait 355. Nous prendrons la valeur 260 comme moyenne entre ces deux valeurs, afin d'être assurés que tout le quartz sera emporté, mais que la blende descendra le long du tube. Or, ces 260 milligrammes par millimètre carré se rapportent à un tube de 4,775 de rayon; pour ramener à un tube de rayon égal à 6 millimètres, nous nous servirons de la *fig.* 10. Prenons sur l'ordonnée 4,775 une hauteur égale à 260 et menons une parallèle à la courbe jusqu'à la rencontre de l'abscisse 6 millimètres, nous obtiendrons ainsi graphiquement le nombre 280, c'est-à-dire 0,28 litres par seconde et par centimètre carré d'orifice du tube comme débit d'eau nécessaire pour séparer le quartz de la blende dans les conditions indiquées précédemment.

Si le tube était incliné, il faudrait moins d'eau. Ainsi avec un tube incliné à 45°, il suffirait (*fig.* 11) de 0,2 litres environ. En revanche, les grains s'entassant les uns sur les autres dans la portion inférieure du tube, l'action du courant ne se ferait pas sentir régulièrement sur tous les grains et le triage serait moins parfait.

Nous donnerons en dernier lieu le tableau indiquant en mètres par seconde la vitesse maximum d'un courant d'eau vertical capable d'immobiliser des grains sphériques de rayon variant de 0,1 à 2,5 millimètres et de densité comprise entre 1,5 et 4. Ces limites sont très suffisantes pour l'application de nos calculs à la géologie, puisque la densité des plus lourds parmi les minéraux abondants dans les roches, le pyroxène et l'amphibole, n'est que de 3,5.

Le coefficient de réduction d'un tube ayant 4,775 millimètres de rayon est, d'après les mesures prises directement sur la *fig.* 10 :

Pour un tube de	0mm,1	de rayon.......	0,88 *
—	0 ,5	—	0,88
—	1 ,0	—	0,88 *
—	1 ,5	—	0,89
—	2 ,0	—	0,98 *
—	2 ,5	—	0,91

Les valeurs marquées d'une astérisque sont mesurées directement sur la *fig.* 10 et calculées par moyenne ; les autres valeurs sont interpolées.

Tableau représentant en millimètres par seconde
la vitesse d'un courant d'eau vertical capable d'immobiliser des grains sphériques de rayon et de densité D (*dans l'air*) *déterminés, et en milligrammes, l'effort exercé par le courant contre le grain.*

RAYON DES GRAINS en millimètres.	VITESSE DU COURANT EN MILLIMÈTRES PAR SECONDE. Poids en milligrammes mesurant l'effort exercé par le courant contre le grain supposé sphérique et ayant *dans l'air* la densité D.											
	D=1,5 *v*	P	D=2,0 *v*	P	D=2,5 *v*	P	D=3,0 *v*	P	D=3,5 *v*	P	D=4,0 *v*	P
0,1	13	0,0002	23	0,004	32	0,006	40	0,008	47	0,01	53	0,01
0,2	23	0,002	40	0,03	55	0,05	69	0,07	79	0,08	85	0,10
0,3	32	0,006	57	0,11	78	0,17	94	0,23	106	0,28	116	0,34
0,4	40	0,01	70	0,27	94	0,40	114	0,54	129	0,67	143	0,80
0,5	51	0,03	82	0,52	107	0,78	132	1,05	151	1,31	168	1,56
0,6	57	0,04	92	0,90	120	1,36	147	1,81	168	2,26	187	2,72
0,7	61	0,07	100	1.44	133	2,15	163	2,87	185	3,59	205	4,30
0,8	65	0,11	108	2,14	142	3,22	174	4,29	198	5,36	221	6,44
0,9	68	0,15	116	3,05	152	4,58	185	6,11	211	7,63	237	9,16
1,0	72	0,21	123	4,19	161	6,28	195	8,38	224	10,47	252	12.56
1,1	75	0,28	128	5,57	169	8,36	203	11,15	234	13,94	264	16,72
1,2	78	0,36	133	7 24	175	10.86	211	14,48	243	18,10	273	21,72
1,3	80	0,46	137	9,20	180	13,80	218	18,40	252	23,01	281	27,60
1,4	82	0,57	141	11,49	184	17.24	224	22,99	260	28,73	288	34,48
1,5	84	0,71	144	14,13	188	21,21	229	28,27	267	35,34	295	42,42
1,6	86	0,86	147	17,15	192	25 74	234	34,31	271	42,89	300	51,48
1,7	88	1,03	149	20,57	195	30,87	237	41,16	274	51,45	304	61,74
1,8	90	1,22	151	24,42	197	36,64	240	48,86	277	61,07	308	73,28
1,9	92	1,44	153	28,72	199	43,10	243	57,46	280	71.83	312	86,20
2,0	94	1,67	154	33,50	201	50,27	246	67,02	283	83,78	315	100,54
2,1	95	1,94	155	38,78	202	58,49	249	77,58	286	96,98	317	116,38
2,2	96	2,23	156	44.59	203	66,90	251	89,20	288	111,50	319	133,80
2,3	97	2,55	156	50.95	204	76,45	253	101,93	290	127,41	321	152,90
2,4	98	2,89	156	57,89	205	86,86	254	115,81	291	141,76	323	173,72
2,5	98	3,27	156	65,44	206	98,17	255	130,90	292	163 62	324	196,35

S'il s'agit, par exemple, d'un grain ayant 1,0 millimètre de rayon et de densité 3, il exigera pour être maintenu immobile dans un tube de 4,775 un courant ascendant vertical de 221 milligrammes d'eau par seconde et par millimètre carré d'orifice du tube (mesuré sur la *fig.* 9); pour un tube de 1,0 millimètre de rayon, rayon égal à celui du grain, le coefficient de réduction (mesuré sur la *fig.* 10) est de 0,88, nombre par lequel on multiplie 221, ce qui donne 195 milligrammes ou 195 millimètres par seconde.

Remarquons que pour la mer, dont la densité est plus élevée que celle de l'eau douce et où, par conséquent, les corps immergés perdent une partie plus considérable de leur poids, les vitesses indiquées par le tableau fait pour l'eau douce sont supérieures à celles qui, dans l'eau salée, rendraient immobile le même grain. Il en résulte que les vitesses du tableau appliquées à l'eau de mer, mettraient en mouvement les grains au lieu de les laisser immobiles.

Ce tableau fournit aussi un moyen de se rendre compte de la force en poids d'un courant choquant un grain de sable supposé sphérique. En effet, puisque les vitesses indiquées dans le tableau, p. 521, font équilibre à des corps dont on connaît le volume et la densité, il est évident que ces courants possèdent une force égale au poids des corps et pouvant par conséquent être mesurée par ce poids. Ainsi en appelant V le nombre de millimètres par seconde trouvé dans le tableau, ou, en d'autres termes, la vitesse par seconde exprimée en millimètres, R et D le rayon et la densité du corps supposé sphérique, comme le corps est plongé dans l'eau, sa véritable densité au sein du liquide est D — 1, et l'on pourra poser qu'un courant faisant V millimètres par seconde, possède une puissance équivalant en milligrammes à $\frac{4}{3}\pi R^3 (D - 1) = P$ milligrammes.

C'est de cette façon qu'ont été calculés les nombres inscrits dans les colonnes intitulées P du tableau.

Sur un sol uni dont le fond est constitué par une couche horizontale de grains de sable sphériques, et de grosseur uniforme, on peut admettre que chaque grain repose sur trois autres grains disposés en triangle équilatéral comme une pile de quatre boulets. Considérons une pareille pile de quatre grains de sable ; les trois grains inférieurs sont protégés les uns par les autres, puisqu'ils font partie d'une couche indéfinie de grains égaux, et cherchons la force du courant nécessaire pour pousser en avant le grain supérieur. Un simple graphique (*fig.* 14) montre que la force de ce courant doit être telle que sous son action le grain de sable poussé horizontalement remonte une pente de 37° environ.

Le problème est donc posé, et il s'agit de calculer la vitesse maximum d'un courant incapable de faire mouvoir des grains ronds sur une pente de 37°, dès que cette limite sera dépassée, le grain sera entraîné et nous connaîtrons alors la force d'un courant d'eau capable d'entraîner des grains déterminés déposés sur un sol horizontal.

Prenons le cas d'un grain de densité égale à 2,6, qui est celle du quartz, matière constituant pour la majeure partie les matériaux sableux, et de rayon égal à 0,85 millimètres, soit un diamètre de 1,70 millimètres. Plongé dans l'eau, ce grain n'aura plus qu'une densité égale à $2,6 - 1 = 1,6$, de sorte que son poids sera égal à

$$\frac{4}{3}\pi(0,85)^3 \times 1,6 = 4.1151 \text{ milligrammes,}$$

et comme ce grain se trouve sur une pente de 37°, pour lui faire remonter cette pente, il faut une force inverse égale à celle avec laquelle ce grain abandonné à lui-même descendrait le long de ce même plan incliné, force mesu-

rée par

$$4.1151 \sin 37° = 2.4651 \text{ milligrammes.}$$

En définitive, le phénomène exige pour se produire la même force que celle qui serait nécessaire à un courant vertical pour immobiliser un grain ayant un rayon de 0,85 millimètres, mais un poids de 2,4651 seulement. Nous sommes donc ramenés au tableau de la page 521. Or nous pouvons sur ce tableau, entre les lignes correspondant à $R = 0,8$ et $R = 0,9$ établir par interpolation que si pour un grain de 0,85 de rayon, une vitesse de $65 + \frac{68 - 65}{2} = 66,5 = x$ immobilise un poids de $0,11 + \frac{0,15 - 0,11}{2} = 0,13 = p_1$, et que d'autre part une vitesse de $108 + \frac{116 - 108}{2} = 112,0 = x_2$ immobilise un poids de $2,14 + \frac{3,05 - 2,14}{2} = 2,59 = p_2$, pour immobiliser un poids de $2,46 = p$, il faut une vitesse x donnée par la formule

$$x = x_1 + (p - p_1)\frac{x_2 - x_1}{e_2 - e_1} = 109,58 \text{ millimètres.}$$

C'est ainsi que nous avons calculé les valeurs ci-après de la vitesse maximum immobilisant des grains de sable de diverses grosseurs; nous avons à dessein employé les mêmes dimensions et les mêmes désignations que celles dont M. de Lapparent a fait usage dans un tableau analogue (*Traité de Géologie*, p. 202).

DÉSIGNATION.	DIAMÈTRE des grains.	VITESSE en millim. par seconde.
	millim.	millim.
Limon grossier	0,40	40,00
Sable fin	0,70	59,68
Sable de rivière	1,70	109,58

En réalité le grain de sable surmontant la pile dont nous avons parlé n'est pas isolé au sein de l'eau ; il est plus ou moins protégé par les grains voisins placés au même niveau que lui, par suite la force capable de le chasser en avant se faisant sentir non plus dans la direction même du mouvement mais sous un certain angle se rapprochant de la verticale doit être plus grande. Il faut donc augmenter les valeurs trouvées pour la mesure de cette force qui n'est qu'un minimum permettant d'affirmer par exemple que pour une vitesse V trouvée dans le tableau, des grains ayant le volume *v* et le poids *p*, ne seront sûrement pas entraînés par l'eau. Dans tous les phénomènes de ce genre où tant de causes le plus souvent impossibles à spécifier viennent agir concurremment, la rigueur des mathématiques n'est qu'apparente et la pratique ne se met d'accord avec la théorie qu'à l'aide de coefficients extrêmement variables selon les divers auteurs et le plus souvent laissés presque à l'arbitraire dans chaque cas particulier. Nous avons tenté de comparer les uns avec les autres les résultats cités par divers auteurs et ceux que nous avons obtenus nous-mêmes, mais nous nous sommes trouvés en présence de discordances considérables. Dubuat, quoique donnant les vitesses de l'eau avec précision, désigne les dimensions des grains entraînés d'une façon tellement vague que ses indications deviennent impossibles à utiliser. On est en droit d'adresser la même critique à Lyell (*Encycl. Brit.*, art. Rivière, *in* Lyell, *Principes de Géologie*, I, 459). Nous n'avons une netteté suffisante pour une discussion que dans un tableau de M. de Lapparent (*Traité de Géologie*, p. 202) et dans celui que Dana (*Manual of Geology*, 3[d] édit., p. 654) donne d'après le Prof. E. W. Hilgard (*Silt analysis of soils and clays.*, Amer. Journ. of sci. III, VI, 337). Cependant la netteté n'est encore qu'apparente, car si on regarde de près ce dernier tableau, on constate

que Dana et Hilgard, quoique se copiant, ne sont point d'accord entre eux. Aussi terminons-nous en nous bornant à mettre en regard les nombres de Dana, de M. de Lapparent et ceux qui résultent de nos propres expériences. Heureux si celles-ci faites indépendemment de toute idée théorique, peuvent contribuer à jeter quelque lumière sur la question géologique si importante des mers anciennes, de leurs rivages et des dépôts formés dans leur sein. La plus humble expérience — en supposant même que son auteur en tire des conséquences erronées, pourvu qu'elle soit exécutée consciencieusement et dans des conditions parfaitement déterminées, est, il me semble, plus utile à la conquête de la vérité que des volumes entiers de descriptions.

DIAMÈTRE des grains en millimètres.	DÉSIGNATION suivant Daua.	DÉSIGNATION suivant M. de Lapparent.	VITESSE EN MILLIMÈTRES par seconde.			OBSERVATIONS.
			Dana.	M. de Lapparent.	M. Thoulet.	
0,05 à 0,10	Limon (*silt*) très fin.	»	0,25	»	»	
0,14 à 0,17	Limon fin	»	0,33	»	»	
0,22 à 0,30	Limon moyen. . . .	»	0,50	»	»	
0,33 à 0,40	Limon grossier. . .	»	1,00	»	»	
0,40	»	Limon grossier.	»	150,00	40,00	
0,44 à 0,50	Limon très grossier.	»	2,00	»	»	
0,67 à 0,80	Poudre (*dust*)	»	4,00	»	»	
0,70	»	Sable fin.	»	200,00	59,68	
1,10 à 1,20	Sable (*sand*) très fin.	»	8,00	»	»	
1,40 à 1,70	Sable fin.	»	16,00	»	»	
1,70	»	Sable de rivière.	»	300,00	109,58	
2,8 à 3,0	Sable moyen. . . .	»	32,00	»	»	
4,4 à 5,0	Sable grossier. . . .	»	64,00	»	»	
9,2	»	Petit gravier . .	»	700,00	»	

Triage par un courant d'air.

Il nous a semblé intéressant de voir si le même mode d'expérimentation pourrait s'appliquer à la mesure de la vitesse de l'air capable d'entraîner des grains sableux de dimensions et de densités connues. L'appareil employé dans ce but se compose d'un tube de verre maintenu

verticalement, long de 650 millimètres et d'un rayon égal à 2,075 millimètres; l'une de ses extrémités est reliée d'abord à un tube de caoutchouc long d'une douzaine de centimètres et de rayon égal à 5 millimètres et ensuite, par un autre tube en caoutchouc, avec une trompe à eau d'Alvergniat. L'extrémité supérieure du tube de verre est recourbée et débouche dans un flacon en verre dont le bouchon est traversé par un second tube relié lui-même à un tube fin en caoutchouc et terminé par un dernier tube de verre assez court. On déposait les grains minéraux dans le gros tube en caoutchouc on donnait le vent et on le maintenait constant, ce dont on s'assurait par la permanence du niveau de l'eau dans la trompe, les grains d'une certaine grosseur correspondant à la vitesse du vent étaient entraînés et venaient se déposer dans le flacon de verre supérieur; le vent lui-même continuait sa route et pendant un temps déterminé était amené sous une cloche placée sur la cuve à eau. On mesurait le volume d'air écoulé pendant un temps noté avec un compteur à pointage et les minéraux portés sous le microscope étaient mesurés à la chambre claire et cubés.

Pendant ces expériences, la température de l'eau était de 6 degrés, celle de l'air de 16 degrés, la pression barométrique s'est maintenue dans le voisinage de 745 millimètres. Il nous a paru d'ailleurs inutile de faire les corrections relatives à la température ou à la pression.

Nous avons opéré sur du quartz ($d = 2{,}6$) ; nous avons recueilli quatre échantillons correspondant à des courants d'air de plus en plus forts et sur lesquels nous avons mesuré les grains les plus gros. Nous avons ainsi obtenu le tableau suivant où la dernière colonne indique en millimètres les rayons des sphères ayant pour volumes les nombres marqués dans la cinquième colonne :

NUMÉROS d'ordre.	DURÉE de l'expérience.	POIDS D'EAU écoulée pendant l'expérience en grammes.	DIMENSIONS des grains entraînés en millimètres.	VOLUME des grains en millimètres cubes.	POIDS des grains en milligr.	VITESSE du vent en mètres par seconde.	RAYON de la sphère.
1	62^s	1265	$0,15 \times 0,1 \times 0,1$	0,0015	0,004	1,51	0,0705
2	56^s	1199	$0,25 \times 0,2 \times 0,2$	0,0100	0,025	2,25	0,1335
3	37^s	1336	$0,33 \times 0,2 \times 0,2$	0,0130	0,034	2,67	0,1459
4	19^s	1383	$0,45 \times 0,25 \times 0,25$	0,0280	0,073	5,40	0,1883

L'air a été cubé en pesant l'eau contenue dans la cloche jusqu'à un niveau égal à celui qu'occupait l'air.

Nous avons alors construit une courbe en prenant pour abscisses (*fig.* 12) les vitesses du vent en mètres par seconde et pour ordonnées les rayons des grains de quartz supposés sphériques. Cette courbe correspond évidemment à la densité 2,6. Une opération aisée permet de reconnaître que pour des grains de quartz dont les poids varient de 0,01 milligramme jusqu'à 0,10 milligrammes, de centième en centième de milligramme, la vitesse de l'air varie ainsi que l'indique la première colonne du tableau suivant. Prenant en considération la limite d'approximation de pareilles expériences, limite dépendant de l'importance considérable d'une évaluation difficile à faire exactement de la mesure de grains très petits et aussi de l'appréciation rigoureuse du volume de grains aussi irréguliers, il nous a semblé que nous pouvions admettre que les vitesses de l'air sont proportionnelles au poids des grains entraînés et non à leur volume. Nous avons donc cherché quels devaient être les rayons des sphères de minéraux ayant les poids marqués sur la seconde colonne du tableau, mais dont les densités seraient de 1, 1,5, 2, 2,6, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9. En appelant R ce rayon, P le poids et D la densité, ces valeurs seront obtenues par la formule $R = \sqrt[3]{\frac{3P}{4\pi D}}$.

On a de cette façon dressé le tableau suivant :

VITESSE du vent en mètres par 1s.	POIDS en milligr.	D=1	D=1,5	D=2	D=2,6	D=3	D=4	D=5	D=6	D=7	D=8	D=9
1,70	0,01	0,1336	0,1167	0,1061	0,0972	0,0927	0,0842	0,0781	0,0735	0,0698	0,0668	0,0642
2,05	0,02	0,1684	0,1471	0,1337	0,1225	0,1168	0,1061	0,0985	0,0927	0,0880	0,0842	0,0808
2,50	0,03	0,1928	0,1684	0,1530	0,1402	0,1337	0,1214	0,1127	0,1061	0,1008	0,0964	0,0927
3,00	0,04	0,2122	0,1853	0,1684	0,1543	0,1471	0,1336	0,1241	0,1168	0,1109	0,1061	0,1020
3,60	0,05	0,2286	0,1996	0,1814	0,1662	0,1585	0,1440	0,1336	0,1258	0,1195	0,1143	0,1099
4,30	0,06	0,2429	0,2121	0,1928	0,1766	0,1684	0,1530	0,1420	0,1337	0,1269	0,1214	0,1168
5,15	0,07	0,2557	0,2233	0,2029	0,1859	0,1773	0,1611	0,1495	0,1407	0,1336	0,1278	0,1229
6,10	0,08	0,2673	0,2335	0,2122	0,1944	0,1853	0,1684	0,1563	0,1471	0,1397	0,1337	0,1285
7,15	0,09	0,2780	0,2429	0,2207	0,2022	0,1928	0,1751	0,1626	0,1530	0,1453	0,1390	0,1336
8,50	0,10	0,2880	0,2515	0,2285	0,2094	0,1997	0,1814	0,1684	0,1585	0,1405	0,1440	0,1384

Ces valeurs ont servi à construire les diverses courbes de la *fig.* 12 qui permettent de trouver graphiquement, indépendamment de toute donnée théorique, les relations existant entre la densité de grains minéraux supposés sphériques, leur rayon et la vitesse par seconde, du vent capable de les entraîner.

Une expérience servira à la fois d'exemple et de vérification. Nous avons pris de la barytine provenant de Pontgibaud (Puy-de-Dôme), de densité égale à 4,35 ; nous l'avons pulvérisée en grains de grosseurs diverses et nous l'avons soumise dans l'appareil décrit précédemment à un triage par l'air. Les grains ont été entraînés par des courants d'air ayant successivement des vitesses de $3^m,68$, $5^m,10$, $6^m,0$, $6^m,30$ et $6^m,90$ par seconde ; ils ont été mis à part.

Or si l'on prend des abscises correspondant aux vitesses du vent et que pour chacunes d'elles on élève (*fig.* 12) des ordonnées jusqu'à la rencontre de la courbe spéciale à la densité de 4,35, on constate que leurs longueurs indiquent pour les grains entraînés et supposés sphériques des rayons de 0,14 millimètres, 0,15-0,16, 0,16-0,17, 0,16-0,17 et 0,17 millimètres. Le microscope vérifie ces prévisions avec une approximation d'environ 2 centièmes

de millimètre. Je ne crois pas qu'il soit possible d'exiger une exactitude plus grande à cause de la difficulté qu'on éprouve à cuber des grains irréguliers.

L'emploi des courbes de la *fig.* 12 peut être utile en géologie. Elles permettent en effet d'évaluer, connaissant deux d'entre elles, l'une quelconque des trois quantités, vitesse du vent, densité et dimensions de grains entraînés. On mesurera par exemple la vitesse de vent ayant enlevé certaines poussières minérales telles que celles qui, parties des volcans d'Islande en 1875, arrivèrent jusqu'à Stockholm, ou celles qui tombèrent à Lyon en 1846, et dont Ehremberg sut distinguer l'origine américaine. Inversement il suffira de connaître la vitesse d'un courant aérien pour apprécier si certaines poussières de densité et de volume déterminés ont pu être amenées par lui.

BULLETIN.

NOTE STATISTIQUE SUR LA PRODUCTION DE L'OR EN AUSTRALASIE ET PARTICULIÈREMENT DANS LA COLONIE DE VICTORIA.

§ I.

PRODUCTION DE L'OR DE L'AUSTRALASIE.

On désigne sous le nom d'Australasie le groupe formé par les trois grandes îles de l'Australie, de la Nouvelle-Zélande et de la Tasmanie, sur lesquelles s'étend aujourd'hui la domination anglaise, et dont les intérêts politiques et commerciaux tendent de plus en plus à se grouper en un faisceau unique.

L'Australie, à son tour, se subdivise en cinq États ou colonies distinctes, savoir : Victoria ; Nouvelle-Galles du Sud ; Queensland ; Australie occidentale et Australie méridionale. Toutes ces colonies, et surtout les trois premières, ont pris un rapide essor, qu'elles doivent surtout à l'exploitation de leurs richesses minérales et particulièrement à celle de l'or.

Le tableau suivant, qui donne un aperçu sommaire de la production de l'or à la surface du globe, montre l'importance exceptionnelle de cette exploitation :

Origine.	Années.		Kilogrammes.
Italie	1881		213
Iles britanniques, Scandinavie, Espagne, etc.	1880		329
Allemagne et Autriche-Hongrie	1877	environ	2.000
Empire russe, Oural et Sibérie	1877		39.803
Japon	1876	environ	675
Asie méridionale	moyenne de 1860 à 1874	environ	16.358
Afrique	moyenne de 1870 à 1874	environ	3.500
Amérique du Sud	moyenne de 1860 à 1874	environ	8.000
États-Unis	1881		40.000
Australasie	1881		45.622
Total			156.500

Bien que les chiffres de ce tableau n'aient pas pu, faute de

Production de l'Or de l'Australasie.

CENTRES DE PRODUCTION.	QUANTITÉ D'OR PRODUITE									
	AVANT 1880.		EN 1880.		EN 1881.		EN 1882.		TOTAL.	
	Poids en kilogr.	Valeur en francs.	Poids en kilogr.	Valeur en francs.	Poids en kilogr.	Valeur en francs.	Poids en kilogr.	Valeur en francs.	Poids en kilogr.	Valeur en francs
Victoria	1.518.226		25.787		26.710		26.955		1.597.678	
Nouvelle-Galles du Sud. . . .	277.380		3.631		4.526		3.498		289.035	
Queensland.	98.969		6.327		7.457		7.005		119.778	
Australie méridionale	2.220		411		528		313		3.472	
Australie, total.	1.896.815	6.008.735.325	36.156	113.459.050	39.221	123.340.654	37.771	121.450.000	2.009.963	6.386.985.029
Tasmanie	4.066	916.224.075	1.586	26.722.675	1.690	31.776.423	1.321	27.275.000	8.663	1.011.018.173
Nouvelle-Zélande.	287.476		9.493		8.415		7.161		312.545	
Australasie, total général. .	2.188.357	6.924.979.400	47.235	140.181.725	49.326	155.117.077	46.253	148.725.000	2.331.171	7.378.003.202

données statistiques suffisantes, être rapportées à la même année, ils n'en fournissent pas moins une mesure assez exacte de l'importance relative des centres d'exploitation, les variations de production ayant été peu importantes dans les limites entre lesquelles se meut le tableau. L'on voit ainsi que la production annuelle de l'or de l'Australasie, Victoria compris, est à peu près 30 pour 100 de celle du monde entier.

Nous allons donner quelques détails statistiques sur la répartition de cette immense quantité d'or dans les colonies australasiennes et sur les circonstances techniques dans lesquelles se fait son exploitation.

Le tableau ci-contre donne, pour les trois années 1880, 1881 et 1882, la répartition de la production de l'or dans les six colonies de Victoria, Nouvelle-Galles du Sud, Queensland, Australie méridionale, Tasmanie, Nouvelle-Zélande.

Il montre que la production totale de l'or de l'Australasie oscille en ce moment autour de 47.000 kilogr. par an, sur lesquels 27.000 kilogr. environ, soit 60 pour 100 de cette production, sont fournis par la seule colonie de Victoria. Cette colonie produit donc à elle seule $0,60 \times 0,30 = 0,18$, soit 18 pour 100 de l'or total annuellement extrait sur la terre entière. Nous allons donner quelques détails sur les conditions dans lesquelles s'effectue l'exploitation de cette quantité d'or.

§ II.

PRODUCTION DE L'OR DANS LA PROVINCE DE VICTORIA.

A. *Or extrait des filons et des alluvions.*

L'or extrait de la colonie de Victoria provient, comme toujours, de deux grandes sources, l'exploitation des alluvions et celle des quartz aurifères. A cette dernière vient s'ajouter l'exploitation des pyrites et autres minerais complexes renfermant de l'or, qui ne fournissent d'ailleurs qu'un appoint peu considérable. De même le lavage des alluvions a pour complément celui des *Tailings*, rebuts mal épuisés des exploitations de quartz.

Le tableau suivant donne les quantités d'or fournies par ces deux sources de production et leurs annexes depuis l'année 1868:

Quantité totale d'or extraite des filons et des alluvions de la colonie de Victoria depuis l'origine (1851).

ANNÉES.	OR DES ALLUVIONS.	OR DES FILONS.	OR TOTAL.
De 1851 à 1867	»	»	1.107.107 kil.
1868	33.821 kil.	18.479 kil.	52.300
1869	29.049	25.098	54.147
1870	22.352	28.211	40.563
1871	21.713	20.860	42.573
1872	19.890	21.515	41.405
1873	15.682	20.717	36.399
1874	13.475	20.661	34.136
1875	13.267	19.960	33.227
1876	12.130	18.842	30.972
1877	9.011	16.168	25.179
1878	8.224	15.350	23.574
1879	9.121	14.481	23.602
1880	9.327	16.457	25.784
1881	9.760	16.950	26.710
Totaux. . .	226.822 kil.	263.749 kil.	Depuis 1868 : 490.571 kil. Depuis 1851 : 1.597.678

Les chiffres qui composent ce tableau sont très difficiles à établir avec exactitude. Les statistiques sont faites en général par trois méthodes différentes, basées : l'une, sur la déclaration des exploitants; l'autre, sur les indications tirées de l'exportation des lingots et de la frappe des monnaies ; la troisième enfin sur les recherches faites par des employés de l'administration parcourant le pays dans ce but spécial. Ce sont ces dernières qui sont définitivement adoptées pour servir de base aux études statistiques, l'écart entre les indications extrêmes fournies par les divers modes d'investigation ne dépassant pas d'ailleurs 3 p. 100 de la valeur totale de ces indications.

Il résulte du tableau ainsi établi que la production de l'or dans la colonie de Victoria n'a cessé de décroître depuis 1869 jusqu'en 1879 où elle est descendue au-dessous de la moitié de ce qu'elle était en 1869, et que les dernières années présentent de nouveau une légère recrudescence dans cette production.

Le tableau suivant donne pour l'année 1881 l'importance de la propriété minière de la colonie, en indiquant le nombre des filons aurifères exploités, les surfaces occupées par les concessions, et enfin la valeur approximative de ces dernières.

Importance des exploitations aurifères de Victoria en 1881.

DISTRICTS.	NOMBRE DE FILONS de quartz en exploitation.	SURFACE en kilomètres carrés des terrains d'alluvions et de filons exploités.	VALEUR ESTIMATIVE des concessions de filons et d'alluvions aurifères. (*Claims and leased lands.*)
		kilom. carr.	francs
Ballarat.	350	474,88	50.011.825
Beechworth. . . .	912	865,92	11.733.750
Sandhurst.	779	371,20	73.062.500
Maryborough . . .	627	350,08	16.798.750
Castlemaine. . . .	407	440,32	8.783.775
Ararat.	81	226,56	8.119.425
Gippsland	489	544,64	8.509.475
Totaux. . . .	3.645	3.273,60	177.019.500

B. *Teneur des minerais.*

La teneur des minerais d'or des différents districts de Victoria est naturellement variable, non seulement d'un district à l'autre, mais encore d'une mine à l'autre; enfin, dans une même mine, elle change avec la profondeur et diminue rapidement à mesure que cette dernière augmente.

Il semble donc, au premier abord, que les indications de teneur moyenne n'aient qu'une faible valeur technique ou scientifique, et doivent présenter des variations aussi incessantes qu'irrégulières. Il n'en est rien, et on s'aperçoit bientôt que les teneurs moyennes établies pour des classes définies de minerais (quartz aurifères, pyrites aurifères, tailings, alluvions aurifères) présentent, pour chaque district, une valeur caractéristique qui ne varie que lentement avec le temps. Cette constance persiste alors même que les minerais sur lesquels on a pu avoir des renseignements exacts, ne comprennent pas la totalité des produits de l'exploitation.

Cette observation s'applique surtout aux alluvions, dont le lavage ne comporte aucune des mesures quantitatives préalables qui s'imposent au moins approximativement dans le traitement des quartz.

Aussi ces derniers ont-ils pu être étudiés avec beaucoup plus de soin. Pourtant, ici encore, il a été impossible de se procurer

des données exactes sur la teneur de la totalité des quartz aurifères exploités, soit que les propriétaires des exploitations n'aient réellement pas les moyens de fournir ces renseignements, soit qu'ils se refusent volontairement à les livrer aux agents de l'administration. Ces derniers ont cependant réussi à se procurer des données précises sur les neuf dixièmes environ de la totalité des minerais exploités en filons, et ces données sont résumées dans les trois tableaux ci-dessous qui donnent les teneurs de ces minerais, sous leur double forme de quartz et de pyrites aurifères ainsi que sous celle de *tailings*, c'est-à-dire de rebuts des premiers traitements soumis une deuxième fois au lavage.

Tableau des teneurs de l'ensemble des minerais aurifères (quartz, pyrites, tailings) sur lesquels il a été possible de se procurer des renseignements complets.

ANNÉES.	POIDS DES MINERAIS étudiés.	POIDS DE L'OR produit.	TENEUR MOYENNE par tonne.
	1° *Quartz.*		
	tonnes	kilogrammes	grammes
1876	1.026.985	16.617	16,18
1877	980.056	14.100	14,35
1878	887.837	12.978	14,61
1879	862.063	11.599	13,45
1880	983.416	24.505	24,92
1881	1.056.830	14.180	13,31
	2° *Tailings, rebuts soumis à un deuxième lavage.*		
1876	35.147	102	2,90
1877	28.861	91	3,15
1878	38.856	109	2,80
1879	37.861	94	2,48
1880	29.577	73	2,73
1881	25.465	106	4,16
	3° *Pyrites et autres minerais aurifères.*		
1876	7.162	545	76,09
1877	7.470	424	56,76
1878	5.455	423	77,54
1879	5.383	405	75,23
1880	8.158	419	51,36
1881	6.056	405	66,87

Les chiffres de ces tableaux indiquent une diminution lente, avec quelques oscillations de détail, de la teneur des quartz au-

rifères. Cette diminution est beaucoup plus sensible quand on prend pour point de comparaison la teneur moyenne approximative de l'ensemble des quartz sur lesquels il a été possible de se procurer des renseignements exacts. La quantité totale de ces quartz ne s'élève pas à moins de 18.000.000 de tonnes, dont la teneur moyenne a été trouvée de 17gr,53. La teneur initiale des quartz, correspondant à la période de l'exploitation des affleurements, a donc dû être beaucoup plus considérable, et c'est en grande partie, sinon exclusivement, dans cette diminution de teneur (*) qu'il faut chercher l'explication de la diminution de la production totale de l'or dans la colonie de Victoria et dans toute l'Australasie.

Les chiffres précédents donnent les teneurs pour toute la colonie de Victoria. Ces teneurs se répartissent inégalement dans les divers districts miniers, ainsi que le montrent les tableaux suivants qui donnent le détail de cette répartition.

Produits de l'exploitation et teneurs des quartz aurifères traités et étudiés en 1881.

DISTRICTS MINIERS.	QUARTZ traités et étudiés.	OR produit.	TENEURS PAR TONNE moyennes.	TENEURS PAR TONNE extrêmes.	PROFONDEURS correspondantes.
	ton.	kil.	gr.	gr. gr.	mèt.
Ballarat	508.020	5.184,629	10,046	7,728 à 17,650	60 à 330
Beechworth	43.682	815,153	18,681	5,175 à 147,339	17 à 135
Sandhurst	248.490	4.665,355	18,467	13,851 à 322,374	150 à 400
Maryborough	53.840	849,047	15,645	9,490 à 40,482	80 à 220
Castlemaine	89.556	878,419	9,661	4,654 à 118,011	21 à 150
Ararat	82.540	945,052	11,285	39,783 à 53,682	250 à 360
Gippsland	30.702	827,587	26,803	38,722 à 83,701	180 à 330
Totaux et moyennes.	1.056.830	14.165,242	12,225	4,654 à 322,374	17 à 360

(*) Nous ne possédons à cet égard qu'un seul renseignement numérique direct : il est relatif à un groupe de mines du district de Ballarat dont les quartz ont eu les teneurs moyennes suivantes :

De la surface jusqu'à 100 mètres	51	grammes.
De 100 à 130 mètres	29	—
De 130 à 160 mètres	25	—
De 160 à 180 mètres	15	—
A 260 mètres et au-dessous	12 à 6	—

Produits du traitement et teneurs des pyrites et autres minerais aurifères exploités et étudiés en 1881.

DISTRICTS MINIERS.	MINERAIS traités.	OR PRODUIT.	TENEUR moyenne par tonne.
	ton.	kil.	gr.
Ballarat	1.771	144,402	81,776
Beechworth	410	15,213	37,704
Sandhurst	2.942	197,716	67,071
Maryborough	247	2,712	10,900
Castlemaine	630	43,089	67,926
Ararat	»	»	»
Gippsland	56	1,836	32,488
Totaux et moyennes	6.056	405,058	66,687

Produit du traitement et teneurs des rebuts de l'exploitation minière (Tailings) repris et étudiés en 1880.

DISTRICTS MINIERS.	MINERAIS traités.	OR PRODUIT.	TENEUR moyenne par tonne.
	ton.	kil.	gr.
Ballarat	2.340	6,822	2,480
Beechworth	7.371	42,900	5,429
Sandhurst	326	0,793	2,137
Maryborough	4.474	29,379	6,455
Castlemaine	8.338	22,117	2,266
Ararat	2.615	4,225	2,694
Gippsland	»	»	»
Totaux et moyennes	25.464	106,236	3,804

Nous complétons ces données purement statistiques par un tableau donnant les conditions techniques dans lesquelles s'est effectuée en 1881 l'exploitation des filons aurifères.

Ce tableau montre que, sauf une exception unique, les filons de quartz ont deux orientations seulement; l'une, assez rare, est de N. 5 à 10°E., l'autre, prépondérante, oscille de N. 8°O. à N. 33°O.

Il montre également la disposition des parties riches en zones plus ou moins inclinées au milieu du filon de quartz.

Enfin, il fait voir des teneurs exceptionnelles, supérieures à 100 grammes par tonne, obtenues principalement dans le voisinage de la surface.

Conditions techniques de l'exploitation des filons en 1881.

DISTRICTS.	NOMS des filons.	PROFONDEUR de l'exploitation.	QUANTITÉS extraites.	TENEUR moyenne par tonne.	PUISSANCE du filon.	DIRECTION du filon.	PLONGEMENT du filon.	PLONGEMENT de la zone ou colonne métallifère.
		mètres	tonnes	grammes	mètres			
ARARAT.								
	Scotchman's Flat. . . .	360	1.128	53,682	»	»	»	»
Ararat.	Cross.	255	1.354	39,783	»	»	»	»
	Scotchman's	336	2.579	47,118	»	»	»	»
BALLARAT.								
Central.	Band of Hope.	120 à 285	1.500	11,030	0,60	N.	63° O.	N.
Southern.	Staffordshire.	83	1.753	6,311	1,80 à 3,90	»	70° O.	S.
Buninyoug.	Hiscock's	34	2.103	10,523	6,00	N. 8° O.	66° E.	N.
Creswick.	Clunes.	24 à 297	14.523	9,121	0,60 à 18,0	N. 15° O.	30° E.	N.
	Clunes.	60 à 330	2.052	15,429	0,60 à 2,10	N. 8° E.	»	N.
Steiglitz.	(?)	42	1	122,409	0,15 à 0,25	»	variable	E.
Blackwood et Blue Montain S. .	Sultan et autres	120 à 225	1.665	20,659	0,15 à 1,80	N. 11° E.	variable	variable
BEECHWORTH.								
Beechworth.	Reform, Myrtleford. . .	135	1.420	10,140	3,00	N.	O.	S.
Yackandandah S.	Morning Star.	18	64	58,272	1,20	N. 10° O.	80° O.	vertical
	Tiddle-de-addledee . .	105	158	147,339	»	»	»	»
Buckland.	Land-Tax.	180	180	45,903	»	»	»	»
	Land-Tax.	72	38	67,645	»	»	»	»
Alexandra	Accident.	17	9	73,258	0.30	N. 22° O.	30° S.-O.	30° S.-O.
Gaffney's Creek	Homeward Bound . . .	45	35	7,399	2,40	N. 33° O.	O.	33° S.-O.
Wood's Points.	Ford's.	60	150	24,481	0,60	N. 52° O.	70° S.-O.	70° S.-O.
Big River.	Railway	90	600	5,175	1,20	N. 33° O.	vertical	»
Jamieson.	Gleeson's Lease.	51	32	105,962	0,30	N. 27° O.	E.	»

Conditions techniques de l'exploitation des filons en 1881 (*suite*).

DISTRICTS.	NOMS des filons.	PROFONDEUR de l'exploitation.	QUANTITÉS extraites.	TENEUR moyenne par tonne.	PUISSANCE du filon.	DIRECTION du filon.	PLONGEMENT du filon.	PLONGEMENT de la zone ou colonne métallifère.
CASTLEMAINE.		mètres	tonnes	grammes	mètres			
Castlemaine	Wattle Gully	105	503	10,651	irrégulier	»	»	»
Fryer's Creek	Ferron's	21 à 120	6.226	7,527	0,15 à 6,00	N. 14° O.	36° E.	»
	Cattle's	48 à 78	1.673	7,079	0,12 à 6,00	N. 5° E.	50° O.	83° N.
Hopburn	Wilson's	58	120	36,216	1,65	N. 20° O.	60° O.	30° S.
Taradale et Kyneton	United Kingdom	15	143	4,654	0,90	»	»	»
Tarrangower	Parkin's Reef	150	452	60,442	1,20	N. 12° O.	80° O.	75° S.
	German	108	969	118,011	1,00	N. 15° O.	78° E.	45° S.
GIPSLAND.								
Mitchell R. et Boggy C. K.	Galloway	18	200	9,948	4,20	»	»	»
Stringer's Creek	Cohen's	102 à 186	4.072	38,193	3,60	N. 19° O.	80° O.	30° N.
MARYBOROUGH.								
Maryborough	Western Reef	150 à 160	528	7,015	0,30 à 1,80	N. 10° O.	65° O.	»
	Fastern Reef	81 à 90	342	4,339	0,15 à 1,20	N. 10° E.	35° O.	»
Amherst	Church Hill	75	115	153,907	0,30	N.	»	Est et Ouest
Dunotty et Tarnagutta	Bealiba	120 à 166	1.710	22,317	1,80	N 18° O.	variable	S.
	Welcome	72	53	126,685	0,50	N. 16° O.	E.	S.
	Bealiba	60 à 90	1.156	60,225	0,90	N. 18° O.	E.	Nord et Sud
SANDHURST.								
Sandhurst	Garden Gully	225	4.015	45,175	0,45 à 1,20	»	»	»
	Garden Gully	240	848	10,523	0,60 à 3,00	»	»	»
	New Chum	174	124	39,847	0,45	»	»	»
	Catherine	174-192-210	1.359	11,734	0,30 à 0,90	»	»	»
Aleathcote et Waranga S.	Butter's	135	480	15,301	0,15	»	75° N.	»

Nous terminons les indications relatives aux teneurs par un tableau donnant la quantité d'or et la teneur de la fraction des minerais d'alluvion lavés au sluice (un quart environ de la masse totale de ces minerais) sur laquelle il a été possible d'obtenir des renseignements numériques.

Nous n'indiquons que les résultats relatifs à 1881, la comparaison que l'on pourrait faire de ces résultats avec ceux des années antérieures n'ayant ni l'intérêt, ni la précision, ni surtout la valeur technique de celle relative aux teneurs des filons de quartz aurifère.

Produit du lavage, et teneur des alluvions (Washdirt) traitées au sluice, et étudiées en 1880.

DISTRICTS MINIERS.	ALLUVIONS lavées.	OR TOTAL produit.	TENEUR moyenne par tonne.	TENEURS EXTRÊMES par tonne. minimum.	maximum.
	ton.	kil.	gr.	gr	gr.
Ballarat.	230.723	60,538	2,052	0.460	4,083
Beechworth.	242.751	187,349	0,513	0,471	1,279
Sandhurst	»	»	»		
Maryborough.	141.255	651.321	4,615	2,553	9,160
Castlemaine	330.607	617,598	1,752	0,780	4,029
Ararat.	33.799	285,134	8,207	exploitation unique.	
Gippsland.	»	»	»		
Totaux et moyennes.	979.135	1.801,940	2,095	0,460	9,160

C. *Conditions techniques et économiques de l'exploitation de l'or.*

Les conditions techniques et économiques de l'exploitation de l'or dans l'État de Victoria sont extrêmement favorables.

Il ressort en effet des tableaux précédents que l'on exploite encore industriellement des filons de quartz aurifère alors même que leur teneur moyenne est descendue à 7 grammes et même à $5^{gr},7$ d'or par tonne, et des alluvions qui ne renferment que $0^{gr},460$ de métal précieux.

Ces résultats indiquent une organisation de travail aussi judicieuse qu'économique. Il suffit, pour s'en convaincre, de les mettre en parallèle avec les teneurs qui, dans les autres districts aurifères du globe, sont considérés comme correspondant à la totalité des frais d'extraction et de traitement, et par suite à la limite inférieure d'exploitation.

Ces teneurs sont, *pour les quartz aurifères en filons* :

Au Vénézuéla, 30 à 60 grammes, ce dernier chiffre correspondant aux exploitations du Callao ; dans les Alpes et dans l'Oural, 12 grammes ; en Transylvanie, 10 à 13 grammes ; enfin dans l'Inde environ 15 grammes. Pour les *alluvions* elles sont de 5 à 10 grammes dans la Guyane, et de $1^{gr},5$ dans les monts Ourals, enfin elle est de $0^{gr},16$ seulement aux États-Unis, quand on peut employer l'exploitation hydraulique.

La possibilité d'exploiter dans la colonie de Victoria des quartz aurifères ne renfermant que 6 à 7 grammes par tonne et des alluvions contenant à peine $0^{gr},50$ d'or par tonne, est d'autant plus remarquable que les salaires y sont sensiblement plus élevés qu'en Europe, ainsi que le prouvent les chiffres suivants :

Désignation.	1869	1881
Mineur, par jour.	10 à 15 fr.	7 à 10 fr.
Forgeron, par jour.	8 à 12	12 à 15
Maçon, briquetier, charpentier, par jour.	10 à 12	15
Plâtrier, par jour.	10 à 12	18
Manœuvre, par jour.	7 à 8	7 à 8
Journalier, par semaine (plus la nourriture).	20 à 25	20 à 25

Le nombre total des ouvriers occupés aux travaux de mine, pendant le dernier trimestre de 1881, a été de 38.136, se décomposant comme suit :

	Européens.	Chinois.	Total.
Ouvriers travaillant aux mines de quartz aurifère.	16.188	74	16.262
Ouvriers travaillant aux alluvions.	14.007	7.867	21.874
Totaux.	30.195	7.941	38.136

Ces chiffres sont sensiblement stationnaires depuis 1875, le maximum ayant été de 41.010 en 1876, et le minimum de 36.636 en 1878. La décroissance porte exclusivement sur les ouvriers lavant les alluvions, et par suite principalement sur les Chinois, le nombre des mineurs proprement dits, presque tous européens, s'étant élevé dans la même période de 14.452 à 16.188.

Les trois tableaux ci-après donnent, l'un la valeur en francs de l'or extrait annuellement depuis 1876 par ouvrier, tant des quartz aurifères que des alluvions ; le second la statistique des accidents auxquels l'exploitation de l'or a donné lieu en 1881 ; enfin le troisième le nombre et la force en chevaux des machines à vapeur consacrées à cette exploitation depuis 1874.

ANNÉES.	VALEUR DE L'OR PRODUIT ANNUELLEMENT.		
	par ouvrier travaillant aux alluvions.	par ouvrier mineur.	par ouvrier en général.
	fr.	fr.	fr.
1876	1.288,20	4.022,29	2.245,00
1877	1.185,00	3.490,00	2.057,60
1878	1.178,75	3.459.45	2.066,20
1879	1.210,15	2.960,70	1.901,50
1880	1.242,70	3.239,55	2.028,70
1881	1.551,00	3.549,00	2.389,75

Tableau des accidents arrivés en 1881 dans les exploitations aurifères de la province de Victoria.

DISTRICTS MINIERS.	EXPLOITATION DES SABLES AURIFÈRES.				EXPLOITATION DES QUARTZ AURIFÈRES.			
	Nombre d'ouvriers			Nombre des accidents.	Nombre d'ouvriers			Nombre des accidents.
	sur les chantiers.	tués.	blessés.		sur les chantiers.	tués.	blessés.	
Ballarat	4.010	9	8	17	5.007	9	18	25
Beechworth	3.544	4	8	11	1.520	1	2	2
Sandhurst	2 029	2	2	4	4.728	21	26	35
Maryborough	5.234	4	12	15	2.291	1	6	7
Castlemaine	3.515	7	3	10	1.466	4	5	9
Ararat	1.996	2	2	3	682	6	8	12
Gippsland	1.546	1	5	4	568	1	3	3
Totaux	21.874	29	40	64	16.262	43	68	93
Proportion par 1000 ouvriers.		1,3	1,76			2,66	4,21	
Id. en 1874		1,21	2,75			3,40	10,39	

Observations. Ces accidents se groupent de la manière suivante pour 100 victimes :

Éboulements	40
Explosions	14
Chutes, etc., etc.	46
Total	100

Machines à vapeur employées à l'exploitation de l'or.

ANNÉES.	NOMBRE.	FORCE EN CHEVAUX.	ANNÉES.	NOMBRE.	FORCE EN CHEVAUX.
1874	1.141	21.866	1878	1.036	22.711
1875	1.101	24.224	1879	1.024	22.509
1876	1 081	23.947	1880	1.030	22.499
1877	1.067	23.416	1881	1.034	23.379

Nous donnons, en terminant, à titre de renseignement, la valeur des métaux, autres que l'or, et des substances minérales exploités dans la colonie de Victoria depuis son origine en 1851.

Valeur des métaux et minéraux autres que l'or, de 1851 à 1881.

Argent	1.221.700 fr.
Étain	8.875.950
Cuivre	2 475.175
Antimoine	4.115.400
Plomb	122.300
Fer	178.400
Charbon	337.700
Lignite	69.300
Kaolin	186.100
Dalles, pavés et pierres de taille	1.333.625
Ardoises	23.500
Gypse	175
Magnésite	300
Argiles, terres réfractaires et autres substances innommées	120.050
Diamants	2.700
Saphirs	15 750
Total	19.078.125 fr.

En comparant ce chiffre à celui de cinq milliards environ, qui représente la valeur de l'or extrait pendant la même période, on voit que la valeur de l'or produit dans la colonie de Victoria depuis son origine représente sensiblement les 0,996 de la production minérale de cette colonie.

(*Extrait par* M. Edm. Fuchs, *ingénieur en chef des mines, des publications suivantes* : Mineral Statistics of Victoria for 1881. — Report of the Chief Inspector of Mines for 1881.— Essai sur la colonie de Victoria par *George Collins Levey*, commissaire général de l'Australie à l'exposition d'Amsterdam. — Victorian Year Book (1881-1882), par *Henry Heylyn Heyter* C. M. G., statisticien officiel de la colonie de Victoria. — Gold; its occurence and extraction, par *Alfred G. Lock*. F. R. G. S.)

SUR LA COMPOSITION DE LA HOUILLE.

Par M. AD. CARNOT, ingénieur en chef des mines.

I. *Sur l'origine et la distribution du phosphore dans la houille et le cannel-coal.*

La présence du phosphore dans les cendres de houille a été remarquée depuis assez longtemps, du moins comme fait accidentel (*). MM. Le Châtelier et L. Durand-Claye ont reçonnu que ce fait est au contraire très général et ils ont signalé son importance, soit pour la métallurgie, qui peut avoir à redouter l'emploi d'un coke phosphoreux, soit pour l'agriculture, qui pourrait tirer parti de cendres phosphatées (**).

J'ai pensé que l'on pourrait aujourd'hui faire plus que constater la présence du phosphore et qu'il serait possible de se rendre compte de son origine et de son mode de répartition dans les combustibles végétaux, en mettant à profit les récents progrès de la paléontologie végétale. Tel est le but des recherches que j'ai entreprises et dont j'ai l'honneur de présenter à l'Académie les premiers résultats.

J'ai pris pour point de départ de ce travail une série d'échantillons de houille, que M. Fayol a eu l'obligeance de m'envoyer de Commentry, et parmi lesquels se trouvaient des lentilles de la houille organisée, à cassure brillante, à structure discernable à la loupe, sur laquelle il a si utilement appelé l'attention des savants. M. B. Renault a bien voulu, au moyen de préparations microscopiques, déterminer avec certitude la nature des plantes qui avaient formé ces lentilles.

Quatre types de végétaux, représentés chacun par deux échantillons différents, ont donné à l'analyse la proportion suivante de phosphore (rapportée à 100 parties de matière) :

	I.	II.
Calamodendron.	0,00195	0,00245
Cordaïtes.	0,00082	traces.
Lepidodendron.	traces.	traces.
Psaronius (Fougère).	0,00271	0,00712

Un échantillon de *fusain* minéral a donné 0,00399 de phos-

(*). Rivot, *Traité de docimasie.* — Percy, *Traité de métallurgie.*
(**) Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1873.

phore, proportion comparable aux précédentes, ce qui s'accorde bien avec l'hypothèse d'après laquelle le fusain serait constitué par des plantes qui se seraient décomposées à l'air libre, avant de se mêler aux débris végétaux qui se sont transformés en houille (*).

La *houille*, prise en masse, a présenté une teneur variable, mais généralement assez faible :

Grande couche de Commentry	0,00163
Houille des Ferrières	0,01385
Anthracite des marais	0,01467

Au contraire, la teneur en phosphore s'est montrée considérable dans le *cannel-coal* de Commentry.

	I.	II.
Deux échantillons ont donné	0,04260	0,06912

Frappé de cette différence avec la houille, j'ai cru intéressant de rechercher si des échantillons de cannel-coal provenant d'autres gisements et d'un autre âge étaient également phosphoreux. Les résultats ont été les suivants :

Cannel-coal du Lancashire	0,02852
Cannel-coal de Wigan	0,02246
Cannel-coal de Newcastle	traces.
Cannel-coal de Glasgow	0,00572
Cannel-coal de Virginie	0,02771
Naphtoschiste de la Nouvelle-Galles du Sud	0,01956
Boghead d'Autun (exempt d'écailles de poissons)	traces.
Boghead du Frioul (Autriche)	0,06275

Tous les premiers appartiennent au terrain carbonifère, les deux derniers au terrain permien et à l'étage rhétien (base du lias).

Les observations microscopiques faites sur des plaques minces de cannel-coal conduisent à se représenter cette substance comme formée par l'accumulation de parcelles végétales décomposées, de nature très diverse; mais on y aperçoit, le plus souvent, un nombre considérable de spores ou de grains de pollen, d'ailleurs très irrégulièrement disséminés (M. Renault). J'ai pensé que la présence de ces germes était peut-être la cause à laquelle il convenait d'attribuer la proportion élevée, mais irrégulière, du phosphore dans le cannel-coal.

(*) Grand'Eury, *Annales des mines*, t. I, p. 113. 1882.

Deux sortes d'observations paraissent confirmer cette hypothèse.

D'une part, les deux seuls échantillons presque dépourvus de phosphore, examinés au microscope, se sont également montrés exempts de spores.

D'autre part, l'analyse des spores ou du pollen de quelques végétaux modernes, appartenant aux mêmes familles que les plantes houillères, m'a prouvé que ces matières étaient beaucoup plus riches en phosphore que les plantes elles mêmes.

Diverses Fougères ont présenté les proportions suivantes :

0,12714 dans les spores du *Lastrea filix-mas ;*

0,07824 dans les spores et sporanges du *Polystichum aculeatum ;*

0,09454 dans les spores et sporanges de l'*Osmunda regalis ;*

Or on sait, par une analyse de Berthier (*), que la Fougère sèche contient, pour 100, seulement 0,009 ou 0,010 de phosphore.

Le *Lycopode*, humble représentant actuel de l'importante classe à laquelle appartenaient les *Lepidodendron*, les *Sigillaria*, les *Sphenophyllum*, etc., fournit des spores qui renferment 0,22820 de phosphore.

Enfin le *Ceratozamia mexicana*, appartenant à la famille autrefois très nombreuse des Cycadinées, a donné :

0,28851 de phosphore dans les grains de pollen ;

0,11899 dans leurs enveloppes, qui avaient été, par tamisage, plus ou moins bien séparées du pollen.

Il est naturel d'admettre que les spores et le pollen des végétaux houillers ont dû être, comme dans les plantes analogues actuelles, incomparablement plus riches en phospore que le bois, les écorces les racines ou les feuilles des mêmes plantes et qu'ils ont dû contribuer à élever très sensiblement la teneur en phosphore des matières où ils se sont accumulés.

Tel est spécialement le cas du *cannel-coal*, où le grand nombre des spores et sporanges est révélé par le microscope.

Quant à la houille, elle en contient beaucoup moins en général, en même temps qu'elle est moins phosphoreuse. Mais il peut y avoir, à cet égard, de grandes différences d'un point à l'autre. En observant la tranche d'une couche de houille, on y reconnaît souvent l'existence de veines alternativement ternes

---

(*) Berthier, *Essais par la voie sèche*, t. I, p. 256.

et brillantes, provenant sans doute, les unes de l'accumulation de feuilles et de débris de toute sorte, les autres de la transformation des bois, écorces ou racines des grands végétaux houillers. En essayant séparément ces deux sortes de houille, prises pour ainsi dire côte à côte dans un même échantillon provenant de la couche des grès noirs de Commentry, j'ai trouvé dans l'une 10,5 p. 100 de cendres et 0,00815 de phosphore, dans l'autre 3,8 p. 100 de cendres et 0,00326 de phosphore.

II. — *Sur la composition et les qualités de la houille, eu égard à la nature des plantes qui l'ont formée.*

On s'est souvent demandé si la composition chimique et les qualités industrielles des houilles étaient liées à la nature botanique des végétaux qui les ont constituées (*).

Dès longtemps, on avait remarqué l'abondance des Sigillaires dans certaines couches, qui fournissaient des charbons gras pour la forge, et celles des Fougères dans d'autres couches, dont les charbons à longue flamme convenaient pour la fabrication du gaz. Aussi, plusieurs géologues avaient-ils cru devoir attribuer aux essences forestières une influence prépondérante sur les qualités des houilles. D'autres ont pensé, au contraire, que ces qualités étaient à peu près indépendantes de la nature des plantes fossiles, mais qu'elles résultaient presque exclusivement des circonstances où s'était opérée leur transformation en charbon minéral.

Les circonstances extérieures ont assurément joué le rôle principal. Ont-elles cependant effacé tout caractère distinct entre les différentes sortes de plantes qui ont formé la houille?

C'est une question qui n'avait pas été jusqu'ici, que je sache, abordée par l'expérience. Je me suis efforcé de la résoudre, du moins sur un point spécial, en mettant à profit la découverte, au milieu de la grande couche de Commentry, de plantes transformées en houille, mais encore parfaitement reconnaissables à la loupe ou au microscope d'après les détails de leur structure.

Entremêlées dans un même banc de houille, ces plantes se sont certainement trouvées, depuis l'origine, dans des conditions toujours identiques, et elles ont subi toutes les mêmes influences

(*) Grand'Eury, *Flore carbonifère*, p. 462, 1877; et *Annales des mines*, 8e série, t. I, p. 269, 1882.

extérieures. Si donc on peut constater entre elles des différences de composition ou de qualité, on sera fondé à les attribuer à la diversité des espèces végétales. Quant aux anomalies accidentelles, on parviendra à les faire disparaître en opérant sur plusieurs individus de chaque espèce et prenant les moyennes des résultats obtenus.

Grâce à l'obligeance de M. Fayol, qui m'a envoyé une collection d'échantillons, et à celle de M. B. Renault, qui en a fait la détermination botanique, je me suis trouvé en possession de dix-huit échantillons appartenant aux genres *Calamodendron*, *Cordaïtes*, *Lepidodendron*, *Psaronius*, *Ptychopteris* et *Megaphyton*.

Ces échantillons, bien triés, ont été soumis, d'une part, à l'analyse élémentaire, de l'autre, à la distillation en vase clos.

L'analyse élémentaire a donné les moyennes suivantes, déduction faite des cendres et de l'humidité des échantillons (*).

	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Azote.
Calamodendron (5 échantillons)	82,95	4,78	11,89	0,48
Cordaïtes (4 échantillons)	82,84	4,88	11,84	0,44
Lepidodendron (3 échantillons).	83,28	4,88	11,45	0,39
Psaronius (4 échantillons).	81,64	4,80	13,12	0,44
Ptychopteris (1 échantillon).	80,62	4,85	14,53	
Megaphyton (1 échantillon)..	83,37	4,40	12,23	

Il résulte de ce tableau que la composition élémentaire des différents végétaux est à très peu près uniforme; elle diffère d'ailleurs assez peu de celle de la houille massive de la grande couche de Commentry, telle qu'elle a été déterminée par V. Regnault dans son mémorable travail sur les combustibles minéraux (A) et telle qu'elle a été obtenue récemment dans mon laboratoire (B) :

	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène et azote.
(A).	82,92	5,30	11,78
(B).	83,21	5,57	11,22

On remarquera cependant que cette houille renferme une proportion plus grande d'hydrogène, ce que l'on peut attribuer à la présence de feuilles et de débris végétaux de toutes sortes dans la masse de la houille, tandis que les échantillons analysés

(*) Ces analyses ont été faites dans mon laboratoire, avec beaucoup de soin, par M. Mongin, ancien élève externe de l'École des mines.

plus haut se composaient uniquement de fragments de bois, d'écorces ou de racines.

Mais, si l'analyse élémentaire ne signale presque aucune différence entre les diverses plantes houillères, il n'en est pas de même des essais de distillation. En opérant dans des conditions toutes semblables sur chacun des dix-huit échantillons, puis faisant déduction de l'humidité et des cendres, j'ai trouvé, pour chaque genre, la moyenne suivante :

	Matières volatiles.	Résidu fixe.	Aspect du coke.
Calamodendron	35,3	64,7	Bien aggloméré.
Cordaïtes	42,2	57,8	Assez boursouflé.
Lepidodendron	34,7	65,3	Bien aggloméré.
Psaronius	39,5	60,5	Un peu boursouflé.
Ptychopteris	39,4	60,6	Un peu boursouflé.
Megaphyton	35,5	64,5	Bien aggloméré.

Une opération toute semblable m'a donné :

Houille de la grande couche.	40,6	59,4	Coke un peu boursouflé.

Ainsi, bien que les proportions des éléments soient à peu près les mêmes, on observe d'assez grands écarts dans les quantités relatives de substances volatiles et de résidu fixe. Il convient, sans doute, d'attribuer cette différence au mode de combinaison varié des éléments, qui ne se révèle pas dans l'analyse élémentaire, mais qui peut se manifester au contraire par les procédés d'analyse immédiate ou même par le seul effet de la chaleur.

Au reste, une observation analogue peut être faite sur les bois de l'époque actuelle, auxquels on a toujours trouvé une composition élementaire presque identique, malgré leurs qualités si diverses. Je me bornerai à citer, comme exemple, les nombres donnés par M. Gottlieb (de Copenhague) pour deux variétés de bois en quelque sorte opposées, le chêne et le pin.

	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène et azote.	Azote.	Cendres.
Chêne	50,16	6,02	43,36	0,09	0,37
Pin	50,31	6,20	43,08	0,04	0,37

Les plantes conservées à l'état de houille semblent avoir de même des propriétés différentes, avec une composition chimique élémentaire à peu près uniforme.

En résumé, les expériences précédentes montrent que l'âge de la houille et les circonstances diverses qui ont présidé à sa

formation n'ont pas seuls influé sur ses propriétés; lorsque toutes ces circonstances ont été absolument identiques, les différentes espèces forestières ont donné naissance à des houilles de qualités sensiblement différentes.

(*Extrait des* Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, *séances des* 21 *juillet et* 4 *août* 1884).

SUR LES GALETS DE HOUILLE DU TERRAIN HOUILLER DE COMMENTRY.

Par M. B. Renault.

Pour faire l'étude des plantes fossiles transformées en houille et observer leur structure anatomique (*), nous avons choisi à dessein les échantillons isolés les uns des autres dans les couches d'argile ou dans les bancs de grès houiller, et n'ayant aucune relation avec les couches de houille voisines; certains fragments ont été reconnus entiers sur une longueur de plus de 10 mètres; on ne peut donc supposer un instant que ces restes fragiles étaient déjà houillifiés lors de leur dépôt, contemporain de celui des sédiments qui les entourent.

La houillification des diverses matières organiques végétales (bois, écorce, etc.), préalablement soumises à une longue macération et amenées à une composition chimique assez peu différente, s'est opérée plus ou moins lentement au sein même des bancs d'argile et de grès où ils gisent maintenant.

Le microscope ne laisse apercevoir aucune cavité ni dans les vaisseaux ni dans les cellules; leurs parois plus ou moins contractées étant maintenant en contact, il en résulte que la matière organique des parois a dû, pour les plantes isolées en question, intervenir seule dans la production de la houille. Le protoplasma des cellules avec ses phosphates de nature diverse, les aliments de réserve, les gommes, les résines, etc., enlevés par la macération, ont également pu concourir à la formation de couches de houille, mais de nature et d'aspect tout différent

---

(*) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séances des 20 août, 5 novembre et 17 décembre 1883. *Notes pour servir à l'histoire de la formation de la houille*, par M. B. Renault.

(cannel-coal, pitch-coal, certaines anthracites, etc.), tenant en suspension dans la masse des débris végétaux les plus divers, tels que radicelles, fragments de feuilles variées reconnaissables, microspores et macrospores, grains de pollen, etc., amenés pendant que ces couches étaient en voie de formation.

Les fragments plus ou moins volumineux des plantes qui se sont houillifiées sur place se reconnaissent, même lorsqu'ils sont très déformés, par l'aspect des cassures et par la régularité de la surface.

Mais, en même temps que ces fragments de plantes, transformées en houille là où on les trouve, on en rencontre souvent d'autres dont l'apparence est toute différente et qui ne sont pas contemporains: en effet, quand ils sont dégagés avec précaution de la gangue de grès qui les moule exactement, tantôt ils rappellent un fragment de houille fraîchement cassé, tantôt ils se présentent sous la forme de *galets* à angles complètement émoussés, ou de cailloux roulés; ils ne paraissent pas avoir subi de déformation résultant de la pression des couches de grès environnants : par conséquent, tout porte à croire qu'ils ont été arrachés de bancs houillers préexistants et déposés possédant déjà leur consistance, en même temps que les graviers et les sables dans lesquels ils sont enclavés.

Il était intéressant de rechercher l'âge auquel on devait rapporter ces fragments, évidemment plus anciens que ceux dont il a été question plus haut. M. Fayol a bien voulu m'adresser toute une série de ces cailloux de houille encore engagés dans leur gangue de grès et recueillis dans les couches houillères de Commentry.

Par quelques-unes de leurs propriétés physiques, ils diffèrent des fragments qui se sont houillifiés sur place : ils sont moins compacts et poreux; une mince couche d'eau déposée à la surface est rapidement absorbée, leur cassure est moins brillante et plus mate; ils sont rayés par eux et se laissent couper bien plus facilement par le rasoir.

Sur une cassure fraîche on reconnaît à la loupe ou au microscope qu'ils sont formés, les uns de houille ordinaire, c'est-à-dire composée de lames d'épaisseur variable, brillantes ou ternes, avec ou sans traces d'organisation; les autres, de bois divers, à structure conservée.

Réduits en lames minces transparentes, ces derniers fragments m'ont offert l'organisation des bois d'*Arthropitys*, de *Cordaïtes*, de *Calamodendron* et de pétioles d'*Aulacopteris*, c'est-à-

dire des plantes ligneuses et arborescentes que l'on rencontre le plus ordinairement dans le terrain houiller de Commentry à l'état d'empreinte ou de charbon.

Dans un certain nombre d'échantillons, la diminution de volume des trachéides est moins considérable que celle observée pour les mêmes organes des genres correspondants, mais houillifiés sur place. Il semble donc que, lors de leur dépôt, les cailloux de houille n'étaient pas encore transformés complètement et que, depuis, la houillification interrompue n'ait pas continué.

Les genres de plantes que je viens de mentionner sont, comme on le sait, répandus surtout dans le terrain houiller supérieur; le genre *Calamodendron*, en particulier, rare dans le terrain houiller moyen, ne devient commun que dans le terrain houiller supérieur, et est très répandu à Commentry.

Les conclusions à tirer de ce qui précède sont donc :

1° Que, pendant la durée de la formation du terrain houiller de Commentry, des érosions fréquentes se sont produites dans les couches de grès, d'argile et de houille plus anciennement formées;

2° Que ces couches plus anciennes n'appartiennent pas à un terrain houiller beaucoup plus âgé, comme on aurait pu le supposer;

3° Que la houille trouvée sous forme de galets est moins avancée pour ainsi dire, et offre quelques propriétés différentes de celle provenant de plantes houillifiées sur place et plus récente;

4° Enfin que le temps nécessaire à la transformation de la matière organique végétale en houille, quoique très long, ne paraît pas cependant être d'une durée excessive, puisqu'un même bassin houiller, d'une étendue relativement restreinte, possédait déjà de la houille alors qu'il continuait toujours à s'accroître.

(*Extrait des* Comptes-Rendus de l'Académie des sciences, *séance du* 28 *juillet* 1884.)

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME CINQUIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

OBJETS DIVERS.

BULLETIN.

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME CINQUIÈME.

Pl. I, II et III. — Exploitation de la houille dans le bassin du Lancashire.

Pl. IV et V. — Expériences relatives à l'eau surchauffée.

Pl. VI à X. — Voitures à vapeur employées en Belgique et dans les provinces rhénanes.

Pl. XI. — Étude géologique sur les éruptions du Hartz.

Pl. XII. — Appareil de déclenchement système Aubine pour signal automoteur.

Pl. XIII. *fig.* 1. — Filons aurifères de l'Atajo.

Pl. XIII, *fig.* 2 à 15. — Nouveau procédé de formation des chambres de mines dans le roc.

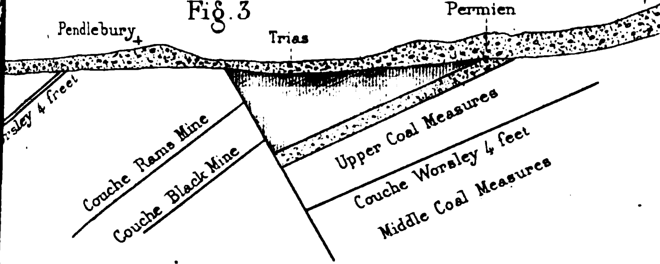
Pl. XIII, *fig.* 16 et 17. — Calcul des dimensions à donner aux piliers de carrières.

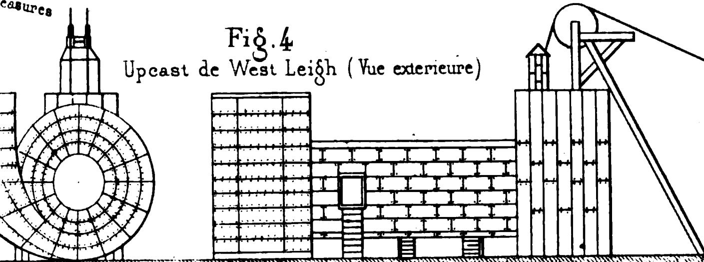
Pl. XIV et XV. — Câbles aériens.

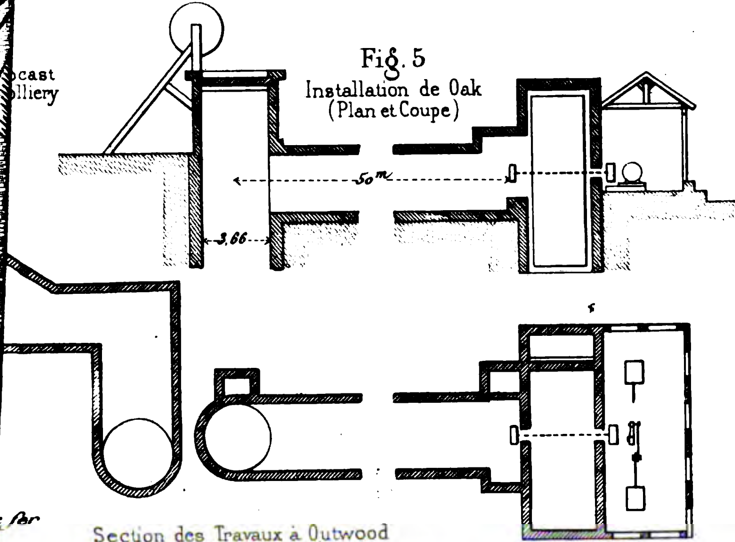
Pl. XVI, *fig.* 1 à 7. — Exploitation de diamants près de Diamantina.

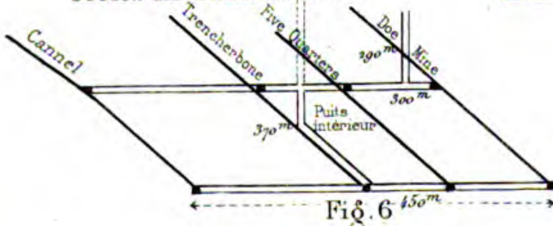
Pl. XVI, *fig.* 8 à 14. — Expériences sur la vitesse des courants d'eau et d'air susceptibles de maintenir en suspension des grains minéraux.

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.


Section de la faille de la vallée de l'Irwell à Pendlebury
Fig. 3
Pendlebury
Trias
Permien
Prestwich
Est
Couche Rams Mine
Couche Black Mine
Upper Coal Measures
Couche Worsley 4 feet
Middle Coal Measures


Fig. 4
Upcast de West Leigh (Vue exterieure)


Fig. 5
Installation de Oak
(Plan et Coupe)
50m
3,66


Section des Travaux à Outwood
Cannel
Trencherbone
Five Quarters
Doe Mine
290m
300m
370m
Puits intérieur
Fig. 6
150m

Macquet s

Fig. 8. Exploitation de Doe Mine à Clifton-Hall.

sant.

raçage

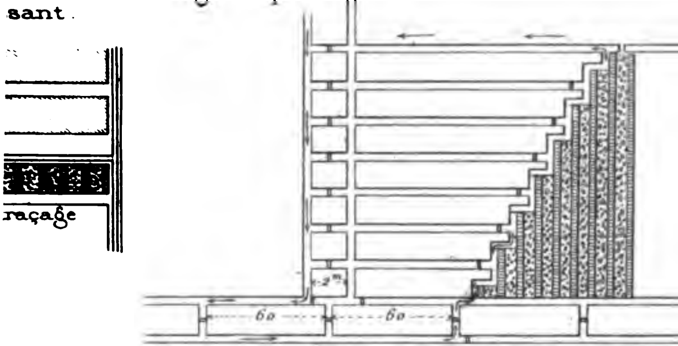
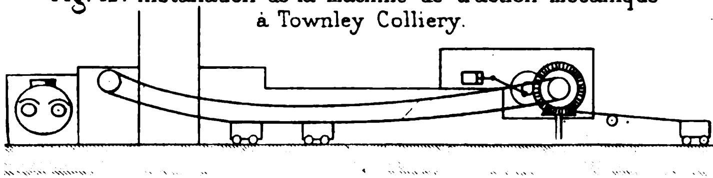


Fig. 12. Installation de la machine de traction mécanique à Townley Colliery.



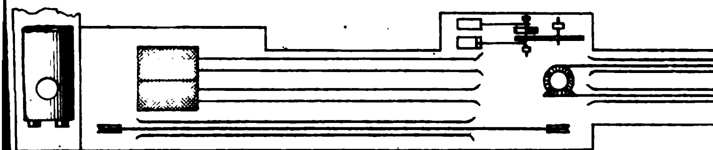


Fig. 13. Câble de sûreté pour la montée.

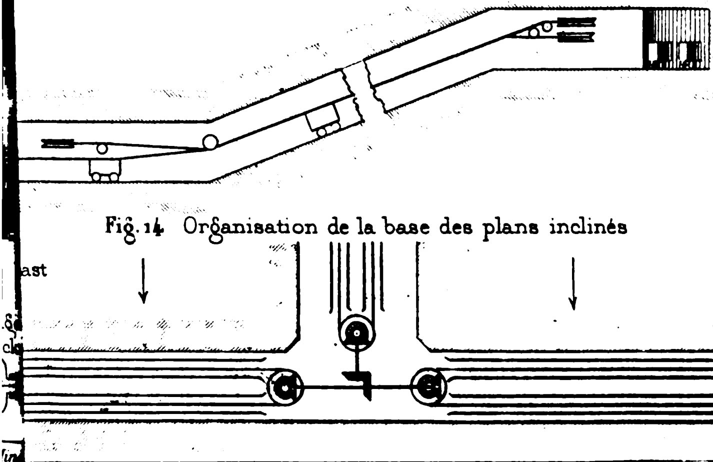


Fig. 14. Organisation de la base des plans inclinés

ast

Macquet sc.

Fig. 8

Distribution avec détente variable à la main
Puits N° 5 Abram Colliery

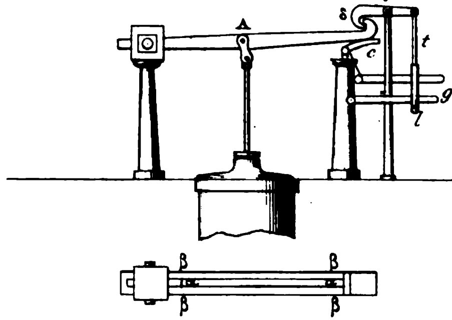


Fig. 7

...pes d'exhaustion aux deux extrémités du cylindre Bamfurlong N° 4

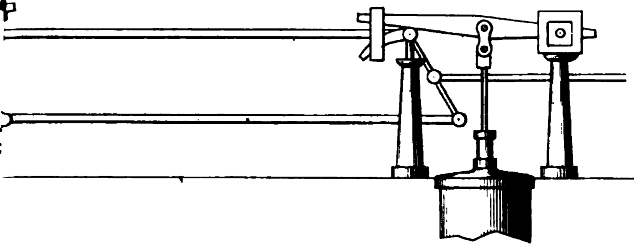


Fig. 11

Appareil enregistreur

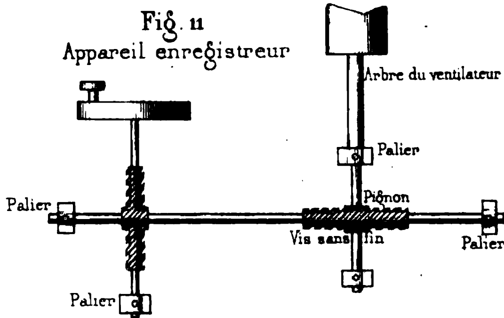
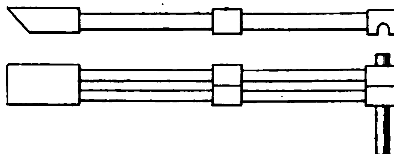
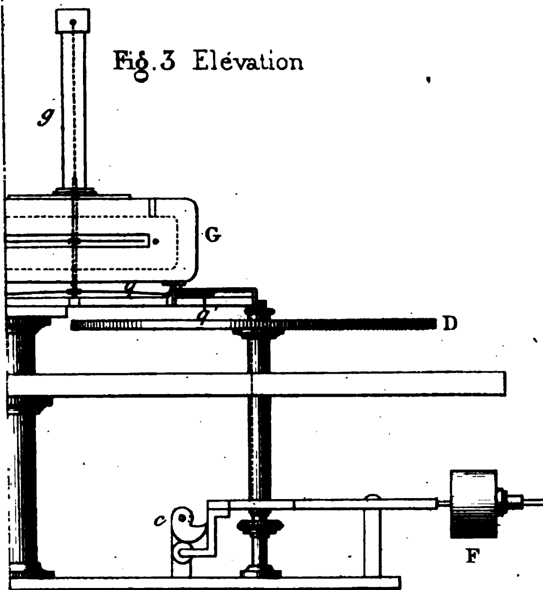


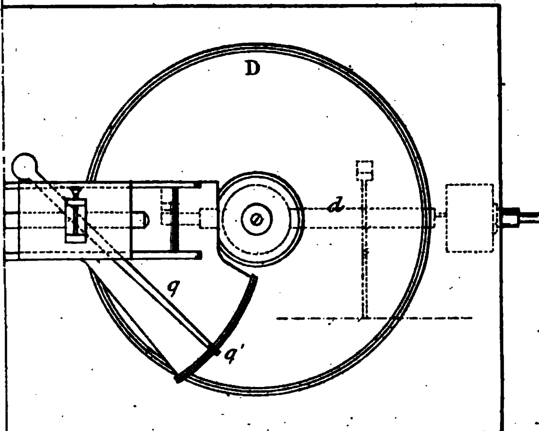
Fig. 12



Macquet sc.







Echelle de 1/4

Fig. 2 Elevation du fond antérieur

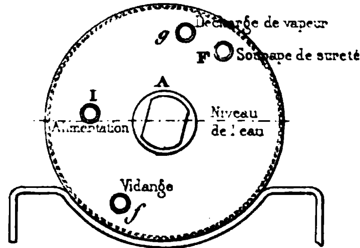
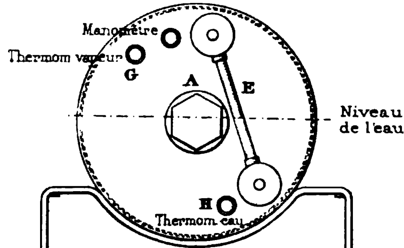
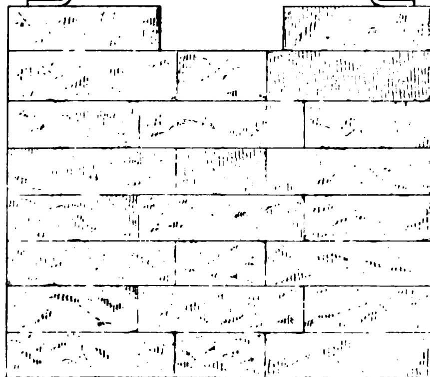


Fig. 3 Elevation du fond postérieur

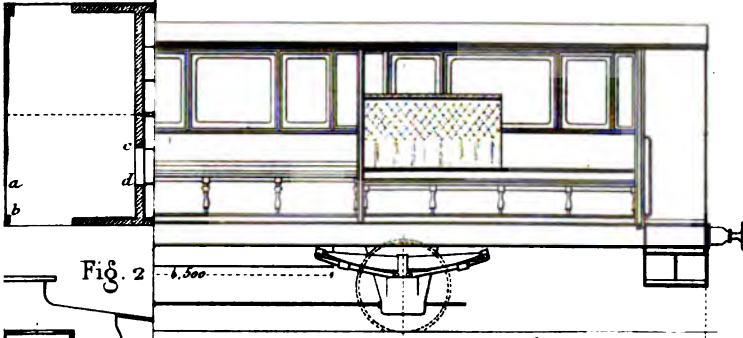


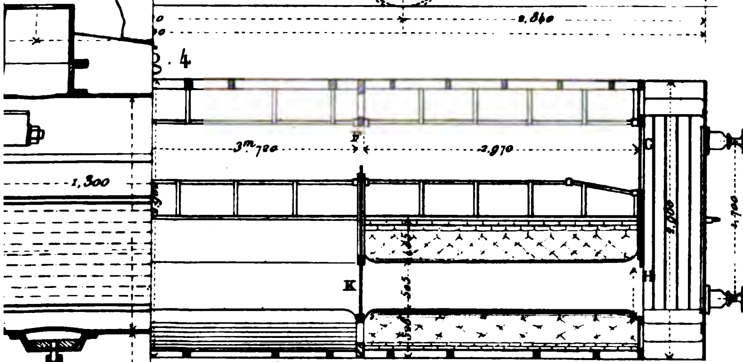


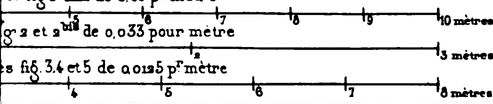
2 mètres

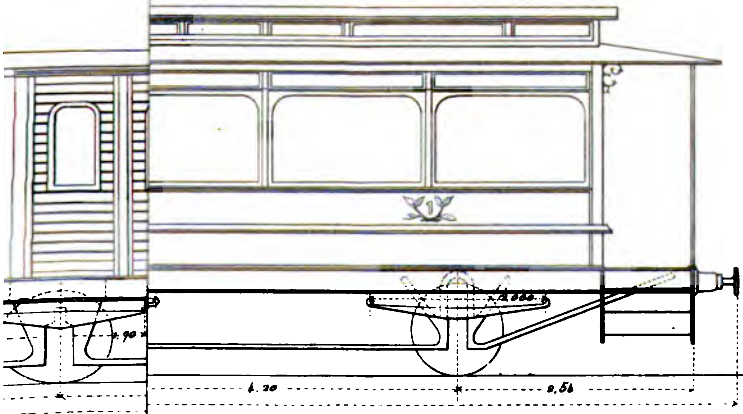
Maucquet sc.

Pl. VI









s 205 et suiv.

Macquet sc.

Fig. 10

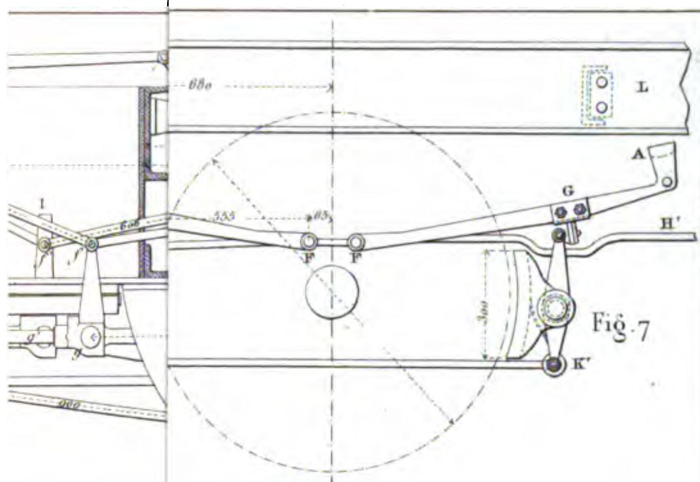
Fig. 7

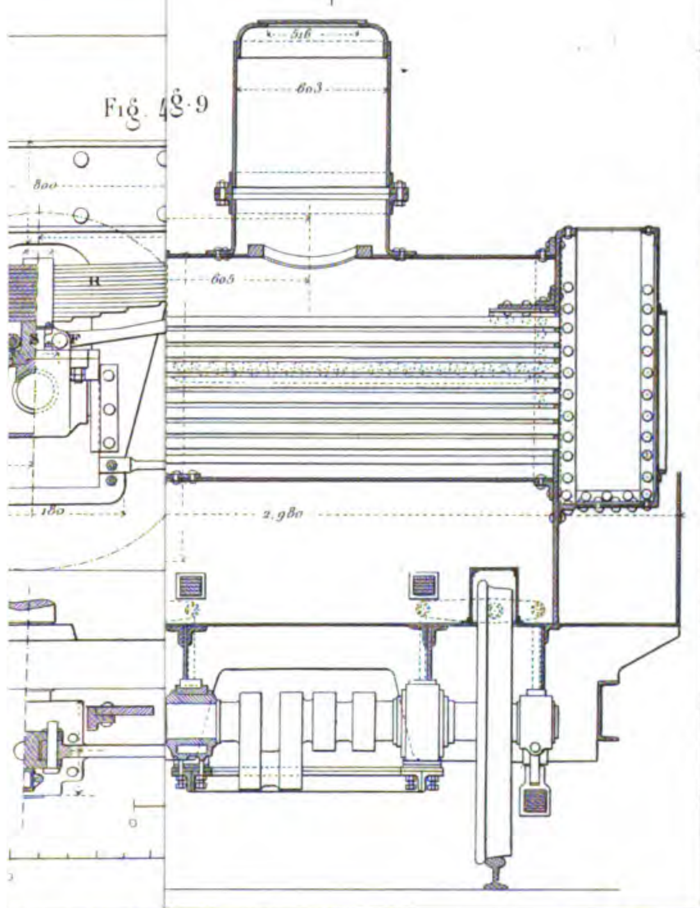
Fig. 8

Fig. 6

Macquet sc

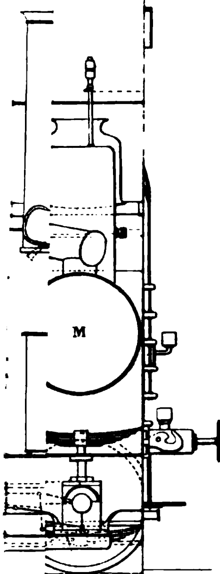



L
A
G
H'
I
f
F
F
K'
g'
g
680
555
85
606
300
900
Fig. 7


Fig. 8
Fig. 9
516
603
800
605
H
S
F
180
2,980

Macquet sc.

Fig. 5



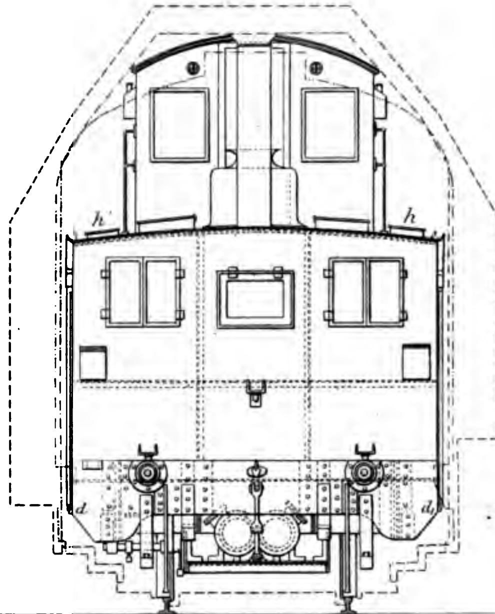


Fig. 4

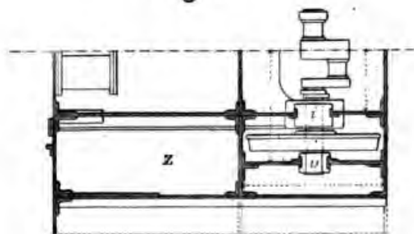


Fig. 5

------- *Profil des ouvrages des chemins de fer allemands*

— — — — *Gabarit du chemin de fer d'Orléans*

— - — - — *Gabarit de chargement des ch. de fer allemands*

15 mètres

Macquet sc.

Pl. X

Lignes parcourues par les voitures à vapeur.

Autres voies ferrées.

Fig. 8.

Fig. 9.

Fig. 10

Fig. 11

Belpaire 1er type

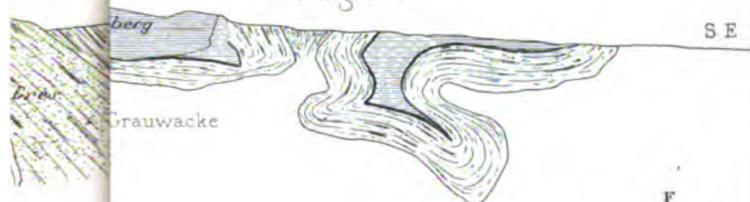
D° 2°

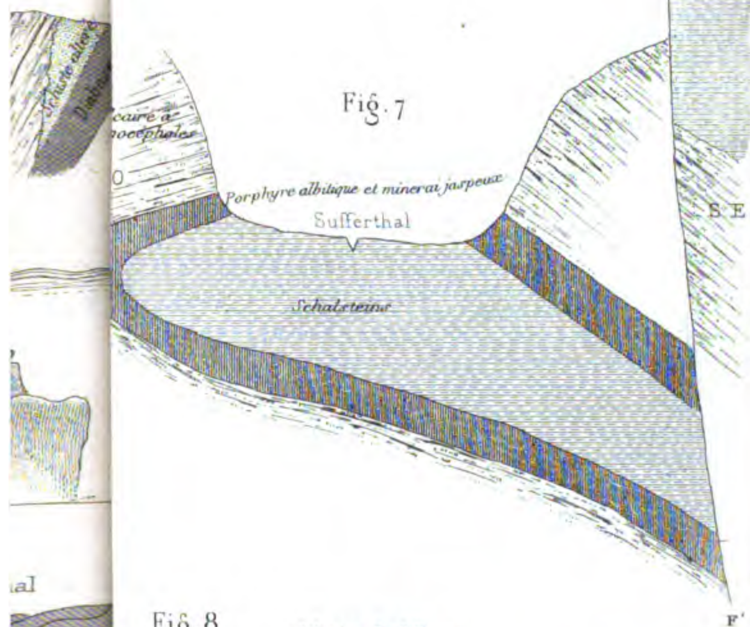
D° type Terneuzen

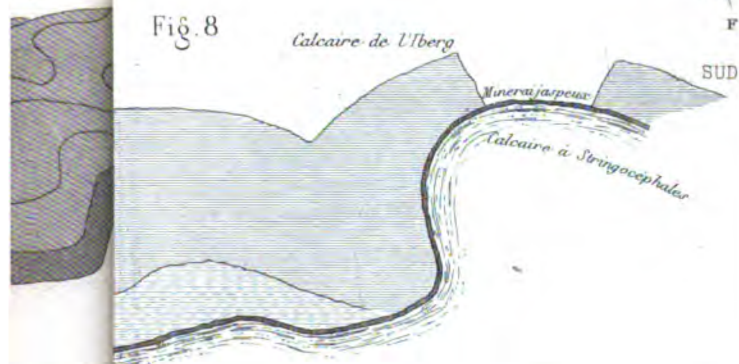
Thomas

pages 205 et

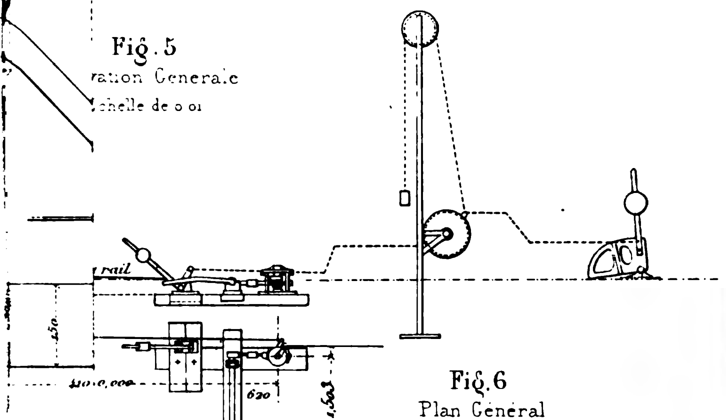
Macquet sc.

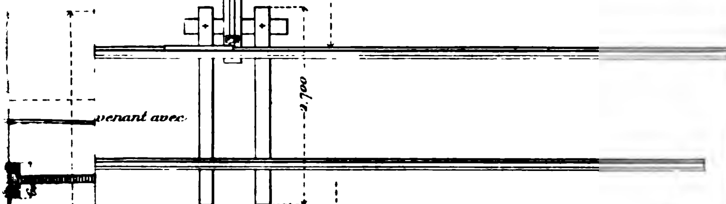

...pproximative à travers les trois bassins dévoniens d'Elbingerode
...berg
S.E
Grauwacke

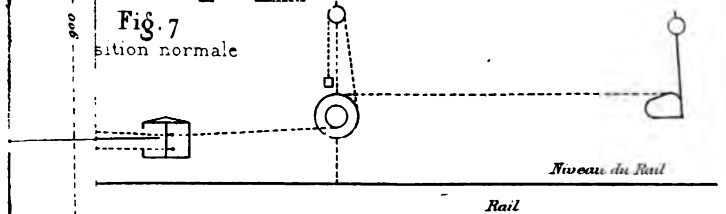

F
Fig. 7
Porphyre albitique et minerai jaspeux
Sufferthal
S.E
Schalsteins
F'

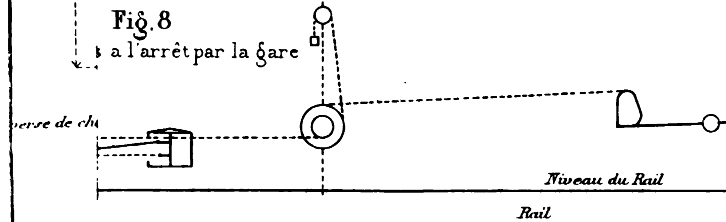

Fig. 8
Calcaire de l'Iberg
SUD
Minerai jaspeux
Calcaire à Stringocéphales

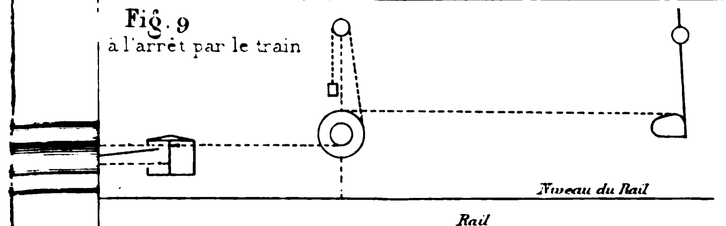
Macquet sc.





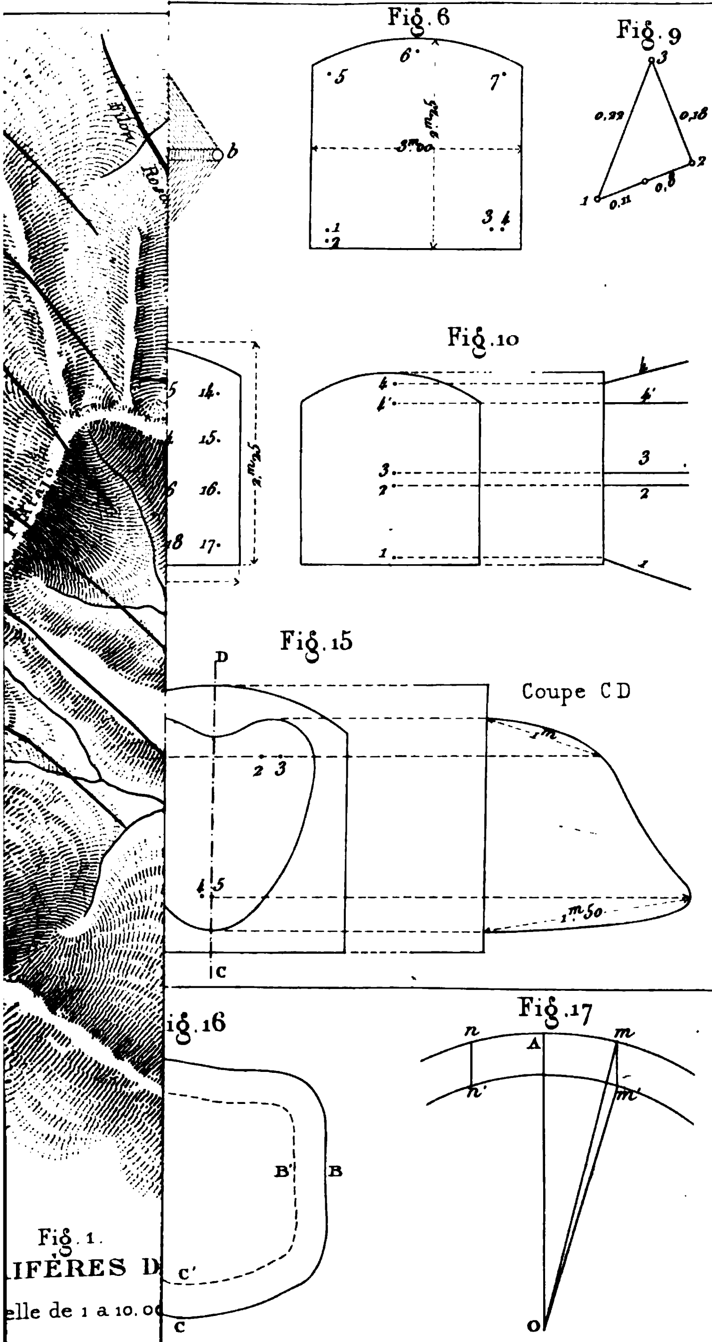






les Mines

Macquet sc


Fig. 6
Fig. 9
Fig. 10
Fig. 15
Coupe CD
Fig. 16
Fig. 17
Fig. 1.
IFÈRES D
elle de 1 à 10.00
8e Série pages 3

Macquet sc

Fig. 8

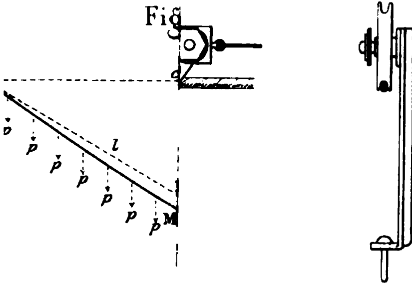
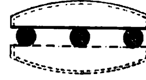
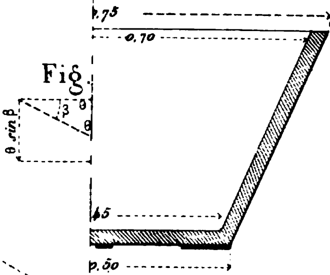


Fig. 9





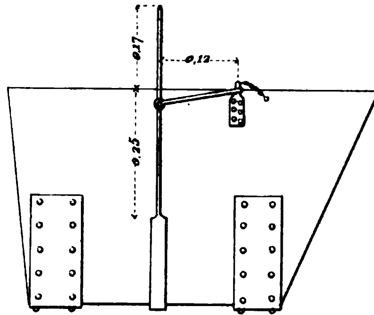


Fig. 11

Fig 7

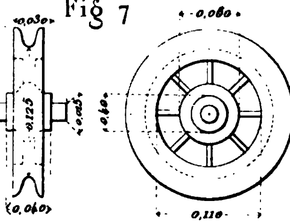


Fig 13

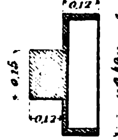


Fig. 14



Fig. 5

Fig. 9

Eche

Echelle

Eche

Fig. 10

Fig. 11

Fig. 15

Fig. 14

Fig 7

Fig. 16

Macquet sc.

Rio Preto
Rio Manso
Mendanha
Vassouras
Rio Cacthemerim

Fig. 9

Valeur de c
12.0
11.5
11.0
10.5
10.0
9.5
9.0
8.5
8.0
7.5
7.0
6.5
6.0
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5

600
400
200
0
0,5
1.0
1.5
2.0
2.5

Fig. 12

0,30
0,20
0,10
d=1
d=1,5
d=2
d=2,6
d=3
d=4
d=5
d=6
d=7
d=8
d=9
1 2 3 4 5 6 7 8 9

Fig. 10

d=6,47
d=7,84
d=4,45
d=3,59
d=1,80
3 4 5 6 7 8

Travaux
Fouilles
Fig. 4 Coupe vert
Echelle de o,
la face N E. et Plafond du
des long.s o^m0002 p^r m. 1/5000
Fig.
Niveau de
Ech. 0,0016 p^r
Niveau moyen du R

465 et suiv., pages 507 et s

Macquet sc

